

**PENERAPAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIATE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE (MEWMA) PADA PENGENDALIAN
KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR PDAM**

SKRIPSI

**OLEH
BRILLIANA MAHARANI
NIM. 15610014**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**PENERAPAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIATE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE (MEWMA) PADA PENGENDALIAN
KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR PDAM**

SKRIPSI

**Diajukan kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
BRILLIANA MAHARANI
NIM. 15610014**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

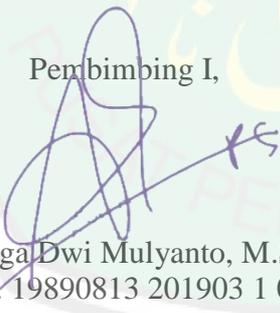
**PENERAPAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIATE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE (MEWMA) PADA PENGENDALIAN
KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR PDAM**

SKRIPSI

Oleh
BRILLIANA MAHARANI
NIM. 15610014

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 01 Februari 2020

Pembimbing I,


Angga Dwi Mulyanto, M.Si
NIPT. 19890813 201903 1 012

Pembimbing II,


M. Nafie Jauhari, M.Si
NIP. 19870218 20160801 1 056

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

**PENERAPAN GRAFIK KENDALI MULTIVARIATE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE (MEWMA) PADA PENGENDALIAN
KUALITAS PROSES PRODUKSI AIR PDAM**

SKRIPSI

Oleh
BRILLIANA MAHARANI
NIM. 15610014

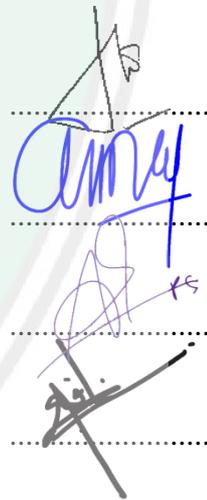
Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)
Tanggal 3 Maret 2020

Penguji Utama : Dr. Sri Harini, M.Si

Ketua Penguji : Mohammad Jamhuri, M.Si

Sekretaris Penguji : Angga Dwi Mulyanto, M.Si

Anggota Penguji : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si



Handwritten signatures of the examiners: Dr. Sri Harini, Mohammad Jamhuri, Angga Dwi Mulyanto, and Mohammad Nafie Jauhari.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Brilliana Maharani
NIM : 15610014
Jurusan : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Penerapan Grafik Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) pada Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air PDAM

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 2 Februari 2020
Yang membuat pernyataan,



Brilliana Maharani
NIM. 15610014

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

Al-Baqarah 2:268



PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

Ayahanda Akhmad Faruq, S.IP, ibunda Titik Sulistiyoningsih, serta adik-adik tersayang Nadila Izza Afkarina dan Faith Farras Sakti yang kata-katanya selalu memberi motivasi dan semangat yang berarti bagi penulis.



KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah Swt atas rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan terutama kepada:

1. Prof. Dr. H. Abd. Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Angga Dwi Mulyanto, M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, motivasi, dan berbagi pengalaman yang berharga kepada penulis.
5. M. Nafie Jauhari, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan berbagi ilmunya kepada penulis.

6. Segenap sivitas akademika Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang terutama seluruh dosen, terima kasih atas segala ilmu dan bimbingannya.
7. Bapak, ibu dan adik-adik yang selalu memberikan do'a, semangat, serta motivasi kepada penulis sampai saat ini.
8. Sahabat-sahabat terbaik penulis yang selalu menemani, membantu, dan memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh teman-teman di Jurusan Matematika angkatan 2015 (LATTICE) khususnya Matematika-A (AREMA)
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materiil.

Semoga Allah Swt melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Akhirnya penulis berharap semoga dengan rahmat dan izin-Nya mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan bagi pembaca. *Amiin.*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang, 02 Februari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
ملخص	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Tujuan Penelitian	10
1.4 Manfaat Penelitian	11
1.5 Batasan Masalah	11
1.6 Sistematika Penulisan	12
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Kualitas	13
2.2 Pengendalian Kualitas Statistik	15
2.3 Grafik Kendali	16
2.4 Uji Dependensi Variabel	17
2.5 Uji Normalitas Multivariate	18
2.6 Grafik Kendali MEWMA	19
2.7 Perusahaan Daerah Air Minum	25

2.8	Proses Produksi Air	26
2.9	Parameter Kualitas Air	27
2.9.1	Nitrit (NO ₂) dan Nitrat (NO ₃)	29
2.9.2	pH	29
2.9.3	Klorin (Cl ₂)	30
2.9.4	Flourida (F)	30
2.9.5	Alumunium (Al)	30
2.9.6	Besi (Fe)	31
2.9.7	Mangan (Mn)	31
2.10	Kajian Keagamaan Tentang Menjaga Karakteristik Kualitas	27
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Pendekatan Penelitian	35
3.2	Data dan Sumber Data	35
3.3	Variabel Penelitian	35
3.4	Langkah Langkah Analisis	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisis Deskriptif Karakteristik Kualitas Air PDAM	38
4.2	Grafik Kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average</i> (MEWMA) Pada Proses Produksi Air PDAM	40
4.2.1	Uji Dependensi Variabel	41
4.2.2	Uji Normalitas Multivariat	42
4.2.3	Grafik kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average</i> (MEWMA)	44
4.2.4	Deteksi Variabel Out-of-Control	50
4.2.5	Kajian Agama Manfaat Menjaga Kualitas Proses Produksi	52
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN-LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Paramater Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum	27
Tabel 3.1	Variabel Penelitian	36
Tabel 4.1	Deskripsi Karakteristik Kualitas Air PDAM	38
Tabel 4.2	Kadar Setiap Variabel Berdasarkan Batas Spesifikasi	39
Tabel 4.3	Uji dependensi variabel	42
Tabel 4.4	Uji normalitas multivariat	43
Tabel 4.5	Nilai vektor MEWMA untuk tiap-tiap pengamatan	49
Tabel 4.6	Kriteria setiap pembobot (λ) pada grafik kendali MEWMA	50
Tabel 4.8	Penggunaan grafik kendali EWMA untuk masing-masing variabel	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Grafik Kendali MEWMA Untuk Nilai $\lambda=0,1$	48
------------	--	----



ABSTRAK

Maharani, Brilliana. 2020. **Penerapan Grafik Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) pada Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air PDAM**. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Angga Dwi Mulyanto, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata kunci: Grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA), identifikasi Variabel

Grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan grafik kendali variabel yang berguna untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses yang melibatkan lebih dari satu karakteristik kualitas untuk data berdistribusi normal multivariat. Merupakan generalisasi dari grafik kendali *Univariate EWMA*. Mengendalikan satu persatu karakteristik kualitas, tidak efektif dalam mengendalikan produk yang memiliki lebih dari satu karakteristik kualitas. Salah satu grafik kendali yang dapat digunakan adalah grafik kendali MEWMA, yang memiliki sensitifitas lebih tinggi dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses.

Tujuan penelitian ini adalah diterapkan grafik kendali MEWMA pada proses produksi air PDAM yang terdiri dari 8 karakteristik kualitas yakni Nitrat (X_1), Nitrit (X_2), pH (X_3), sisa Chlor (X_4), Florin (X_5), Alumunium (X_6), Besi (X_7) dan mangan (X_8). Analisis data dilakukan pada 4 tahap, tahap pertama uji dependensi variabel, tahap kedua uji normalitas multivariat, tahap ketiga penerapan grafik kendali MEWMA dan tahap keempat mendetekis variabel penyebab *Out-of-Control*. Penerapan grafik kendali MEWMA dilakukan pada nilai pembobot (λ) yang sama yakni $\lambda = 0,1$.

Hasil analisis menggunakan grafik kendali MEWMA dengan nilai pembobot optimum sebesar 0,1 dan UCL sebesar 19,54 terdapat 30 pengamatan *Out-of-Control* pada proses produksi air PDAM Kabupaten Jember. Terdapat banyak titik yang berada di luar batas kendali, sehingga dilakukan identifikasi variabel penyebab *Out-of-Control* untuk perbaikan proses. Grafik kendali MEWMA tersebut menunjukkan bahwa proses produksi belum terkendali secara statistik.

ABSTRACT

Maharani, Brilliana. 2020. **Implementation of the Multivariate Weighted Moving Average (MEWMA) Control Chart on the Quality Control of the PDAM Water Production Process.** Thesis. Mathematic Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Angga Dwi Mulyanto, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Key Words: *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)* control chart, variable identification

The Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control chart is a variable control chart useful for detecting a shift in process averages involving more than one quality characteristic for multivariate normally distributed data. Multivariate MEWMA is a generalization of the Univariate EWMA control chart. Controlling the quality characteristics one by one is not effective in controlling products with more than one quality characteristic. One control chart used is the MEWMA control chart, which has a higher sensitivity in detecting shifts in process averages.

The purpose of this study is to apply the MEWMA control chart to the PDAM water production process, which consists of 8 quality characteristics, namely Nitrate (X_1), Nitrite (X_2), pH (X_3), remaining Chlor (X_4), Florin (X_5), Aluminum (X_6), Iron (X_7), and Manganese (X_8). Data analysis was carried out in 4 stages, the first stage was the variable dependency test, the second stage was the multivariate normality test, the third stage was the implementation of the MEWMA control chart, and the fourth step was to detect the variable causing Out-of-Control. The MEWMA control chart's implementation is conducted in the same value (λ), i.e., $\lambda = 0,1$.

The results of the analysis using the MEWMA control chart with an optimum weighting value of 0.1 and UCL of 19,54 has yielded 30 Out-of-Control observations in the water production process of PDAM Jember Regency. Many points are outside the control limits, identifying the cause of Out-of-Control variables to improve the process. The MEWMA control chart shows that the production process has not been controlled statistically.

ملخص

ماهاراني، بريليانا. 2020. تطبيق المخططات الكاملة للتحكم في المتوسط المتحرك الأسّي في التحكم في جودة عمليات إنتاج المياه في شركة مياه إقليمية. بحث الجامعي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية في مالانج. المشرف: (1) أنغا دوي مولياننو، الماجستير (2) محمد نافي جوهرى، الماجستير

الكلمات المفتاحية: *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA), variable identification.

مخطط التحكم للمتوسط المتحرك الأسّي متعدد المتغيرات هو مخطط تحكم متغير مفيد للكشف عن تحول في متوسطات العملية التي تشمل أكثر من خاصية نوعية للبيانات الموزعة بشكل متعدد المتغيرات بشكل طبيعي. هو تعميم الرسم البياني أحادي المتغير. السيطرة على خصائص الجودة واحدة تلو الأخرى، ليست فعالة في التحكم في المنتجات التي تحتوي على أكثر من خاصية جودة واحدة. أحد مخططات التحكم التي يمكن استخدامها هو مخطط التحكم الكاملة للتحكم في المتوسط المتحرك الأسّي، الذي لديه حساسية أعلى في اكتشاف التحولات في متوسطات العملية. الغرض من هذه الدراسة هو تطبيق مخطط التحكم الكاملة للتحكم في المتوسط المتحرك الأسّي على عملية إنتاج المياه في شركة مياه إقليمية التي تتكون من 8 خصائص جودة هي النترات (X_1)، النتريت (X_2)، درجة الحموضة (X_3)، الكلور المتبقي (X_4)، فلورين (X_5)، والألومنيوم (X_6)، والحديد (X_7)، والمنغنيز (X_8). تم إجراء تحليل البيانات في 4 مراحل، وكانت المرحلة الأولى هي اختبار التبعية المتغير، وكانت المرحلة الثانية هي اختبار الحالة الطبيعية متعدد المتغيرات، وكانت المرحلة الثالثة هي تنفيذ مخطط التحكم للمتوسط المتحرك الأسّي والخطوة الرابعة كانت اكتشاف المتغير الذي تسبب في الخروج عن السيطرة. تم إصلاح تطبيق مخطط التحكم للمتوسط المتحرك الأسّي بقيمة نفسة (λ) أي ؛ $\lambda = 0,1$.

نتائج التحليل باستخدام مخطط التحكم للمتوسط المتحرك الأسّي مع قيمة الترجيح الأمثل من 0.1 و حدود السيطرة من 19,54 هناك 30 الملاحظات خارج نطاق السيطرة في عملية إنتاج المياه من شركة مياه إقليمية جيمبار. هناك العديد من النقاط التي تقع خارج حدود السيطرة، لذلك تحديد سبب متغيرات خارج السيطرة لتحسين العملية. يوضح مخطط التحكم للمتوسط المتحرك الأسّي أن عملية الإنتاج لم يتم التحكم فيها إحصائياً.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persaingan di dunia industri semakin hari semakin ketat. masing masing perusahaan berlomba-lomba untuk memberikan yang terbaik untuk konsumen, mulai dari inovasi produk sampai peningkatan kualitas produk atau pelayanan. Kualitas suatu produk memegang peran penting dalam dunia industri. Kualitas adalah keseluruhan ciri atau karakteristik produk atau jasa dalam tujuannya untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan (Ariani, 2004). Kurangnya kualitas suatu produk bisa disebabkan oleh *human error*, kesalahan mesin, perawatan mesin sampai dengan penyimpanan produk. Kualitas yang dimaksud bukan hanya dari sudut pandang produsen tetapi juga dari sudut pandang konsumen. Jika kedua sudut pandang ini diperhatikan penuh oleh produsen maka keuntungan akan didapat oleh kedua belah pihak.

Pengendalian kualitas memiliki peran penting dalam proses produksi karena proses produksi yang baik akan menghasilkan produk yang baik pula. Pengendalian kualitas terdiri dari mengembangkan, merancang, memproduksi, pemasaran, dan pelayanan produk atau jasa dengan mengoptimalkan biaya dan kegunaan untuk kepuasan konsumen (Ishikawa, 1994). Perusahaan dituntut untuk melakukan perbaikan produk agar mendapat loyalitas dari pelanggan, mulai dari pemeliharaan alat sampai dengan pengendalian hasil produk agar memenuhi kualifikasi pelanggan. Agar perusahaan tetap memiliki kepercayaan dari

pelanggan, maka perbaikan kualitas wajib dilakukan, semakin banyak produk cacat yang beredar semakin berkurang pula kepercayaan pelanggan.

Grafik kendali atau *control chart* adalah teknik yang sering digunakan untuk mengevaluasi apakah suatu proses berada dalam pengendalian kualitas secara statistik atau tidak sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas. Grafik kendali (*control charts*) adalah salah satu teknik utama dalam pengendalian proses statistik (SPC) dan merupakan teknik pemantauan proses yang sangat berguna (Montgomery, 2013). Pengawasan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk atau jasa perlu dilakukan secara bersama sama. Karena perbaikan satu karakteristik kualitas belum tentu akan memperbaiki karakteristik kualitas yang lainnya.

Berdasarkan karakteristiknya grafik kendali dibagi menjadi dua yaitu univariat dan multivariat. Grafik kendali univariat selanjutnya dikembangkan menjadi grafik kendali multivariat. Johnson & Wichern (2002) mengatakan bahwa analisis multivariat adalah metode yang digunakan untuk mengelola data secara serentak dengan banyak variabel. Jika variabel karakteristik kualitas yang diperiksa lebih dari satu dan antar variabel yang satu dengan yang lain ada hubungan maka disebut multivariate. Data multivariat diperoleh dari hasil pengukuran lebih dari satu karakteristik pada setiap individu dari anggota sampel. Dalam buku Douglas Montgomery (2001:10-1) grafik pengendali multivariat diantaranya adalah T^2 hotteling dan *Multivariate exponentially weighted moving average* (MEWMA). Dalam mengendalikan beberapa variabel yang saling berhubungan secara bersamaan, untuk membandingkan beberapa grafik

pengendali, salah satu alat pembanding yang dapat digunakan adalah *Average Run Length* (ARL) (Dewantara dan Mashuri 2013).

Salah satu unsur penting dalam kehidupan adalah air. Kurang lebih 71% permukaan bumi ditutupi oleh air, sisanya berupa benua dan pulau-pulau yang memiliki sumber air lainnya. Air memiliki peranan penting dalam pembentukan tubuh manusia. Popkin *et al.* (2010) menjelaskan 75% dari berat badan balita dan 55% dari berat badan lansia terdiri atas air yang penting untuk homeostasis seluler dan kehidupan. Pemanfaatan air oleh manusia telah mencakup banyak hal, tentunya air yang digunakan merupakan air yang bersih dengan kriteria tertentu baik secara fisik, kimiawi, dan biologis. Air bersih menjadi salah satu permasalahan yang dihadapi oleh banyak negara. Chakraborti *et al.* (2016) menyebutkan air yang mengandung senyawa arsenik telah teridentifikasi di 105 negara dengan kemungkinan populasi yang terpapar lebih dari 200 juta jiwa. Guppy dan Anderson (2017) dalam "*Water Crisis Report*" menginformasikan terdapat 45 juta penduduk Bangladesh meminum air dengan kandungan senyawa arsenik melebihi standar *World Health Organization* (WHO).

Analisis status mutu kualitas sungai yang dilakukan terhadap 113 sungai dari 34 provinsi di Indonesia juga menunjukkan indikasi tingkat pencemaran sedang hingga berat oleh beberapa senyawa logam (Statistik KLHK RI, 2016). Secara nasional, IKA Indonesia tahun 2016 berada pada angka 50,20 dan tahun 2017 berada pada angka 53,20 yang artinya kualitas air nasional dalam keadaan cukup baik (Statistik KLHK RI, 2017). Tersedianya air bersih dan layak konsumsi merupakan salah satu upaya peningkatan kesejahteraan hidup masyarakat dan menjadi tanggung jawab pemerintah. Pelaksana penyediaan air minum dalam

lingkup kabupaten/ kota adalah perusahaan daerah air minum (PDAM) selaku badan usaha milik daerah (BUMD). PDAM HAZORA adalah perusahaan daerah air minum yang berada di wilayah Kaliwates, kabupaten Jember. PDAM HAZORA memiliki tanggung jawab melayani kebutuhan air minum masyarakat Kabupaten Jember sesuai dengan Perda Kabupaten Jember Nomor 16 Tahun 2016.

Persyaratan kualitas air minum yang layak konsumsi telah diatur dan ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) dalam undang undang Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010. Kualitas air minum mempunyai persyaratan yang mencakup beberapa parameter wajib dan tambahan diantaranya jumlah *E. Coli*, total bakteri koliform, arsen, nitrit, nitrat, sianida, kekeruhan, total zat terlarut, pH, mangan, besi, sulfat, tembaga, dan lain sebagainya. PDAM HAZORA memiliki peranan yang penting dalam pengelolaan air, mengingat banyaknya industri yang berkembang di Kabupaten Jember. Hal ini tidak menutup kemungkinan adanya senyawa berbahaya yang larut dalam air sebagai sisa dari proses produksi. Keberadaan senyawa berbahaya tentu menjadi kekhawatiran dan memiliki efek yang buruk bagi kesehatan masyarakat. Demi memastikan kualitas air yang terdistribusikan telah memenuhi standar, sangat penting bagi PDAM HAZORA untuk melakukan pengendalian kualitas air secara berkala. Oleh karena itu, kualitas produksi dan proses produksi air harus dimonitor setiap saat. Pengawasan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk atau jasa perlu dilakukan secara bersama sama.

Bentuk grafik kendali yang digunakan pada penelitian ini adalah grafik kendali multivariat yang dapat diterapkan jika terdapat keterkaitan antar variabel

kualitas. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wahyuningsih dan Pusdikarta (2015) tentang kualitas air PDAM Gresik dengan menggunakan peta kendali multivariat T^2 Hotelling yang memuat variabel timbal (Pb), sisa *chlor*, natrium (Na), sulfat (SO_4^{2-}), Besi (Fe), pH, dan kadmium (Cd) menunjukkan bahwa kualitas air PDAM Gresik telah terkendali secara statistik. Hasil analisis kapabilitas proses untuk variabel-variabel tersebut menunjukkan bahwa proses telah berada dalam kemampuan yang baik. Selain peta kendali multivariat T^2 Hotelling terdapat pula peta kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Suryaningtyas dan Mashuri (2013) membandingkan grafik pengendali multivariat T^2 Hotelling dengan grafik pengendali MEWMA untuk pengontrolan terhadap *mean* pada proses pembuatan pita plastik, berdasarkan hasil penelitian perbandingan kedua grafik pengendali tersebut dapat disimpulkan bahwa grafik pengendali MEWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata rata proses. Achmad Suharyanto (2019) tentang pengendalian kualitas produk portland composite cement di PT. Semen Indonesia dengan penerapan diagram kendali MEWMA, didapatkan hasil bahwa rata rata proses masih belum terkendali karena masih terdapat nilai pengamatan yang berada diluar batas kendali. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian tersebut disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan lebih banyak variabel yang berbeda. Peta kendali MEWMA merupakan pengembangan dari grafik kendali univariat *exponentially weighted moving average* (EWMA) dan salah satu grafik kendali multivariat yang dapat mendeteksi pergeseran rata - rata proses dari suatu data berdistribusi normal multivariat (Lowry *et al.*, 1992). Grafik kendali MEWMA juga memiliki

sensitifitas yang lebih tinggi terhadap pergeseran rata-rata proses jika dibandingkan peta kendali multivariat T^2 Hotelling karena memiliki nilai ARL (*Average Run Length*) yang lebih kecil (Khoo, 2004).

Upaya manusia dalam mencari kebenaran sering diiringi dengan berbagai faktor yang bisa membawa manusia menyimpang dari jalan kebenaran. Islam mengajarkan manusia untuk melakukan kebenaran dan kebaikan termasuk dalam hal mencari ilmu, sehingga disamping manusia melakukan kebenaran manusia juga harus melakukan kebaikan, benar tanpa diiringi dengan cara yang baik belum tentu tepat dan baik tanpa adanya kebenaran merupakan sesuatu yang sia-sia. Kebaikan merupakan suatu usaha manusia untuk mendapatkan yang terbaik, karena dengan melakukan kebaikan, manusia akan mendapatkan balasan yang baik pula. Sebagaimana Allah berfirman dalam QS. Al-A'raf ayat 168 yang artinya:

“Dan Kami bagi-bagi mereka di dunia ini menjadi beberapa golongan; di antaranya ada orang-orang yang shalih dan di antaranya ada yang tidak demikian. Dan Kami coba mereka dengan (nikmat) yang baik-baik dan (bencana) yang buruk-buruk, agar mereka kembali (kepada kebenaran)”.

Menurut tafsir Ibnu Katsir: Allah menyebutkan bahwa Dia telah mengolompokkan mereka di bumi ini menjadi beberapa umat atau kelompok. *Min Humush shaalihuuna wa min hum duuna dzaalika* “Di antaranya ada orang-orang yang shalih dan di antaranya ada yang tidak demikian”. Maksudnya, di antara mereka terdapat orang baik dan ada juga yang tidak. *Wa balaunaaHum* “Dan kami coba mereka”. Artinya Kami uji mereka: *bil hasanati was sayyi-aati* “Dengan (nikmat) yang baik-baik dan (bencana) yang buruk-buruk”. Yakni dengan kenikmatan

dan penderitaan, rasa senang dan rasa takut, kesehatan dan cobaan. La'allaHum yarji'uun "Agar mereka kembali [kepada kebenaran]".

Sebagaimana penjelasan tafsiran di atas surah al a'raf ayat 168, Allah membagi manusia menjadi beberapa golongan. Yaitu golongan orang-orang yang baik dan tidak. Tetapi Allah tidak menyebutkan siapa saja yang berada dalam golongan baik dan golongan buruk agar mereka (manusia) mau berusaha untuk selalu mencari kebenaran dengan segala nikmat dan hikmah yang telah diberikanNya. Surah al a'raf ayat 168 ini merupakan tuntunan bagi manusia agar selalu mencari jalan yang benar dan melakukan yang terbaik meskipun dalam proses sering diiringi dengan ujian yang baik-baik dan buruk-buruk, sehingga manusia selalu dituntut untuk mencari dan kembali pada kebenaran. Begitu pula dalam proses produksi, produsen dituntut untuk menghasilkan produk terbaik agar dapat memberikan kepuasan terhadap konsumen. Akan tetapi selalu saja ada kesalahan kecil yang terjadi dalam proses sehingga produsen harus jeli dalam menangani masalah agar dapat mempertahankan kualitas produksi. Penulis menginterpretasikan agar terus mempelajari metode-metode baru pada grafik kendali untuk memperbaiki hasil produksi, maka Allah Subhanahu wata'ala akan memberikan kepada manusia tentang pengembangan suatu metode yaitu grafik MEWMA.

Keunggulan dari grafik kendali MEWMA adalah memiliki kemampuan yang cukup tinggi untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses yang relatif kecil dibanding dengan grafik pengendali yang lain, serta lebih efektif dalam mendeteksi vektor mean yang kecil. Menurut Reynold dan Stoumbus diagram kontrol MEWMA merupakan diagram kontrol multivariat yang lebih efektif

dalam mendeteksi vektor mean yang kecil. Grafik kendali MEWMA juga robust terhadap asumsi distribusi normal, artinya apabila data tidak memenuhi asumsi distribusi normal multivariat maka pembuatan grafik kendali MEWMA masih dapat dilakukan (montgomery, 2009). Dalam MEWMA akan dilakukan pemberian nilai pembobot yang pergerakannya secara eksponensial. Dalam diagram kontrol MEWMA digunakan informasi di masa lalu dan masa kini sehingga lebih efisien dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil.

Penggunaan grafik kendali MEWMA dapat melakukan pengawasan pada beberapa variabel yang saling berhubungan, terutama pada variabel kualitas air yang memiliki berbagai kandungan senyawa kimia. Terlebih lagi ketika al-Qur'an menyebutkan bahwa air merupakan sumber utama kehidupan. Sebagaimana firman Allah swt. dalam QS. al-Anbiya'/21: 30 yang artinya:

“Dan apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi keduanya dahulunya menyatu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya; dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air; maka mengapa mereka tidak beriman?”

Menurut Dr. Muhammad Sayyid Thanthawi dalam kitab tafsir al-Wasith Air yang menjadi sumber bagi seluruh kehidupan di bumi. Lafal رَتْقًا (ratqan) dalam ayat ini bermakna padat dan keras. Sedangkan lafal فَفَاتَقْنَاهُمَا (fafataqnahuma) dalam ayat ini bermakna Kami lembutkan/belah langit dan bumi. Hal ini sebagaimana penafsiran menurut Ibnu Abbas bahwa ayat ini bercerita, *“Dahulu langit dibuat oleh Allah dengan bentuk yang padat dan keras sehingga tak ada sedikitpun air hujan yang turun darinya. Begitu juga bumi yang dijadikan tandus dan tak ada sedikitpun benih yang tumbuh. Tak ada tanda kehidupan hingga Allah lembutkan langit sehingga keluar darinya air hujan dan Allah belah muka bumi sehingga keluar darinya tumbuh-*

tumbuhan”. Menurut al-Qurthubi dalam kitab tafsir al-Jami’ li Ahkam al-Quran, penggalan ayat “*dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air*” memiliki tiga makna penafsiran sekaligus. *Pertama*, Allah menjadikan seluruh makhluknya dari air. *Kedua*, Allah menjaga kelangsungan hidup seluruh makhluknya dengan air. *Ketiga*, Allah menjadikan air mani sebagai sumber kelangsungan keturunan segenap makhluk hidup.

Dari ayat tersebut disebutkan bahwa semua makhluk hidup tersusun dari air. Jadi, sendi kehidupan manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan adalah air. Air adalah satu-satunya perantara yang mengandung mineral-mineral dan zat-zat makanan yang dibutuhkan oleh makhluk hidup. Salah satu kebutuhan pokok bagi keberlangsungan hidup manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan adalah air. Ini berarti segala yang hidup membutuhkan air, pemeliharaan kehidupan segala sesuatu adalah air. Air yang layak konsumsi adalah air yang tidak mengandung bahan kimia berbahaya serta mempunyai kualitas yg baik bagi tubuh. Oleh karena itu, air sangat penting untuk dimonitoring setiap saat agar terjaga kualitasnya dan layak diminum semua makhluk hidup utamanya manusia.

Berdasarkan uraian tersebut, peneliti tertarik untuk menggunakan peta kendali MEWMA dan mendeteksi variabel yang tak terkendali pada proses produksi air PDAM HAZORA kabupaten Jember. Peneliti menggunakan beberapa variabel terkait parameter kimia wajib kualitas air minum sesuai dengan persyaratan kualitas air minum yang ditetapkan oleh Permenkes RI No. 492 Tahun 2010 diantaranya kandungan nitrat (NO₃), nitrit (NO₂), pH, sisa *chlor*, florin (F), aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn). Variabel sisa *chlor* merupakan sisa dari penambahan gas *chlorin* sebagai agen desinfektan dalam

proses pengolahan air di PDAM Hazora. Keberadannya yang melebihi batas spesifikasi dalam air hasil produksi dapat berbahaya bagi kesehatan, sehingga perlu untuk dilakukan pemantauan secara berkala. Maka judul yang diajukan dalam skripsi ini adalah **“Penerapan Grafik Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) Pada Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air PDAM”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah:

1. Bagaimana penerapan grafik kendali Multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA) untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses pada proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember?
2. Variabel apa yang menyebabkan proses tidak terkendali (*Out-of-Control*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui penerapan grafik kendali Multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA) pada proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember.
2. Mengetahui penyebab proses tak terkendali (*Out-of-Control*) dari variabel.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat menambah wawasan keilmuan dan pengetahuan mengenai penerapan grafik kendali Multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA) pada proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian di atas adalah:

1. Pada penelitian ini, permasalahan dibatasi pada pemeriksaan kualitas produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember dengan parameter yang berjumlah 9 variabel yaitu : nitrat (NO_3), nitrit (NO_2), pH, sisa *chlor*, florin (F), aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn).
2. Pengukuran Penelitian ini hanya membahas mengenai penerapan grafik kendali MEWMA dan deteksi variabel penyebab *Out-of-control* jika ada sedikitnya 1 variabel yang keluar dari batas kendali pada proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember.
3. Data karakteristik kualitas proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember akan digunakan dalam pembuatan diagram kontrol multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA).

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penulisan penelitian ini, penulis menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab, dan masing masing bab dibagi dalam subbab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- BAB I Pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- BAB II Kajian pustaka yang berisi teori yang telah dipelajari oleh peneliti sebagai referensi dalam mengkaji teori tentang penelitian.
- BAB III Metode penelitian yang berisi pendekatan penelitian, identifikasi variabel, jenis dan sumber data, metode analisis, dan langkah langkah penelitian.
- BAB IV Hasil dan pembahasan yang berisi hasil dari penelitian yang telah didapat oleh peneliti.
- BAB V Penutup yang berisi kesimpulan yang telah dicapai oleh peneliti serta kritik dan saran yang diberikan kepada pihak pihak yang terkait.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

Kualitas secara umum didefinisikan sebagai ketepatan di dalam penggunaan sesuai dengan apa yang diharapkan dan dibutuhkan oleh konsumen. Kualitas sebagaimana yang diterapkan pada produk yang dihasilkan oleh suatu industri merupakan karakteristik atau kombinasi dari karakteristik yang membedakan suatu barang dari yang lainnya (Anggraini dkk, 2016).

Kualitas adalah kata yang sering diucapkan untuk menilai sesuatu. Definisi tradisional tentang kualitas didasarkan pada sudut pandang bahwa produk dan jasa harus memenuhi persyaratan dari mereka yang menggunakannya. Terdapat dua aspek secara umum dari kesesuaian dalam penggunaan, yaitu kualitas desain dan kualitas kesesuaian. Aspek tersebut memiliki hubungan yang erat dengan variabilitas, terutama pada aspek kualitas desain. Kualitas desain merupakan bentuk variabilitas yang disengaja, sedangkan kualitas kesesuaian adalah faktor-faktor yang mendukung kualitas desain tersebut.

Selain itu menurut perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari standar nasional indonesia (SNI)19-8402-1991, kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk dan jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan baik dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu.

Montgomery (2013) menyebutkan terdapat delapan dimensi kualitas yang biasa digunakan dalam dunia industri, yaitu *performance* (kinerja), *reliability* (keandalan), *durability* (durasi), *serviceability* (kemudahan dalam perbaikan), *aesthetics* (bentuk/ rupa), *features* (kemampuan), *perceived quality* (kualitas rasa), dan *conformance to standards* (keseuaian standar). Selain itu, terdapat tiga dimensi kualitas dalam dunia bisnis transaksi, yaitu *responsiveness* (reponsivitas), *professionalism* (profesionalitas), dan *attentiveness* (kepekaan).

Kualitas suatu produk diharapkan oleh konsumen untuk tetap bertahan agar kebutuhan konsumen terpenuhi. Untuk mempertahankan kualitas suatu produk agar tetap dapat memenuhi kebutuhan konsumen, dibutuhkan tindakan pengendalian kualitas.

2.2 Pengendalian Kualitas Statistik

Pengendalian kualitas adalah aktifitas keteknikan dan manajemen, yang dengan aktivitas itu diukur karakteristik kualitas produk, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai apabila ada perbedaan antara penampilan yang sebenarnya dengan yang standar. Pengendalian proses statistik dapat meminimalkan penyimpangan atau kesalahan, mengkualifikasi kemampuan proses dan membuat hubungan antara konsep dan teknik yang ada untuk mengadakan perbaikan proses (Montgomery, 2012). Tujuh alat utama yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Histogram atau diagram batang-daun
2. Lembar pemeriksaan (*Check sheet*)
3. Diagram pareto

4. Diagram sebab akibat
5. Diagram konsentrasi cacat
6. Diagram sebaran (*Scatterplot*)
7. Peta Kendali (*Control charts*)

Secara umum, tipe pengawasan kualitas terbagi menjadi dua yaitu pengawasan terhadap peubah (variabel) dan pengawasan terhadap sifat (attribut). Jika variabel dapat diukur secara kontinyu, sedangkan jika attribut hanya dapat dihitung namun tak dapat diukur.

Selanjutnya proses pelayanan dikatakan dalam pengendalian statistik apabila penyebab khusus dari penyimpangan atau variasi seperti penggunaan alat, kesalahan operator, kesalahan dalam penyiapan mesin, kesalahan perhitungan, kesalahan bahan baku, dan sebagainya tidak tampak pada proses (montgomery,1991). Atau dengan kata lain sasaran pengendalian proses statistik adalah mengurangi penyimpangan karena penyebab khusus dalam proses dengan cara mencapai stabilitas dalam proses.

2.3 Grafik Kendali

Grafik kendali adalah alat untuk menggambarkan apakah proses berada dalam pengendalian atau tidak. Grafik kendali merupakan penerapan suatu grafik karakteristik kualitas pada periode tertentu yang didalamnya garis tengah yang merupakan nilai rata rata karakteristik kualitas dan terdapat dua garis yang dinamakan batas kendali atas dan batas kendali bawah. Grafik kendali digunakan untuk memonitor proses dan mendeteksi setiap perubahan yang mungkin berpengaruh terhadap hasil dari suatu proses.

2.4 Uji Dependensi Variabel

Pengujian dependensi antar variabel X_1, X_2, \dots, X_n digunakan untuk melihat ada tidaknya hubungan atau korelasi. Penggunaan peta kendali multivariat harus memenuhi asumsi bahwa variabel yang diteliti memiliki hubungan atau korelasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji barlett dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 adalah variabel saling independen (berkorelasi),

H_1 adalah variabel tidak saling independen (tidak berkorelasi).

Statistik uji bartlett dapat ditulis dalam persamaan berikut (bartlett. 1951):

$$X_{hitung}^2 = - \left\{ n - \frac{1}{6} (2p + 5) \right\} \ln |\mathbb{R}| \quad (2.1)$$

n merupakan banyaknya pengamatan, p adalah banyaknya variabel, dan $|\mathbb{R}|$ adalah determinan matriks korelasi \mathbb{R} berukuran $p \times p$. H_0 ditolak jika nilai X_{hitung}^2 lebih dari $X_{\alpha, df}^2$ dengan α adalah tingkat signifikansi dan df adalah $\frac{1}{2}p(p - 1)$. Matriks korelasi dapat dijabarkan sebagai berikut (Walpole, 2012):

$$\mathbb{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}, \text{ dan}$$

$$r_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (2.2)$$

Dengan r_{jk} adalah nilai korelasi antara variabel j , untuk $j = 1, 2, 3, \dots, p$ dan variabel k untuk $k = 1, 2, 3, \dots, p$, x_{ij} adalah nilai pengamatan ke- i variabel ke- j , x_{ik} adalah nilai pengamatan ke- i variabel ke- k , \bar{x}_j adalah rata rata variabel j , dan \bar{x}_k adalah rata rata variabel k .

2.5 Uji Normalitas Multivariat

Distribusi normal adalah distribusi yang selalu dikaitkan dengan berbagai metode dalam statistika. Distribusi normal juga menjadi salah satu asumsi untuk beberapa metode. Selain distribusi normal univariat, terdapat pula distribusi normal multivariat. Fungsi densitas normal multivariat untuk X_1, X_2, \dots, X_n dengan masing masing X_i merupakan vektor random berukuran $p \times 1$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^p |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-(x-\mu)' \Sigma^{-1} (x-\mu)}. \quad (2.3)$$

Pengujian distribusi normal multivariat menjadi salah satu asumsi dalam penggunaan peta kendali multivariat. Pengujian hipotesis dilakukan guna mengetahui apakah data berdistribusi normal multivariat atau tidak, dengan hipotesis berikut :

H_0 adalah data berdistribusi normal multivariat,

H_1 adalah data tidak berdistribusi normal multivariat.

Statistik uji yang digunakan adalah statistik uji d_i^2 dengan persamaan sebagai berikut:

$$d_i^2 = (X_i - \bar{X})' S^{-1} (X_i - \bar{X}), \quad (2.4)$$

X_i adalah vektor nilai pengamatan ke- i untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$ untuk setiap variabel, \bar{X} merupakan vektor rata rata berukuran $p \times 1$ dari j variabel untuk $j = 1, 2, 3, \dots, p$ dan S^{-1} merupakan invers dari matriks kovarian S yang berukuran $p \times p$ yang mana setiap elemennya didapat dari persamaan berikut:

$$\sigma_{jk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k). \quad (2.5)$$

H_0 diterima jika terdapat 50% nilai d_i^2 yang kurang dari $X_{\alpha,df}^2$, dengan α adalah tingkat signifikansi dan df adalah derajat bebas yang besarnya sama dengan jumlah variabel (Johnson dan Wichern, 2007).

2.6 Grafik Kendali MEWMA

Grafik kendali *Multivariate Exponentially weighted moving average* (MEWMA) adalah salah satu alat dalam pengendalian proses statistik secara multivariat. Grafik kendali MEWMA merupakan generalisasi dari peta kendali *Univariate Exponentially weighted moving average* (EWMA) yang digunakan pada data multivariat. Grafik kendali ini memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap pergeseran vektor rata rata untuk data berdistribusi normal multivariat jika dibandingkan dengan grafik kendali T^2 hotelling (Khoo, 2004). Grafik kendali EWMA atau univariat EWMA memiliki nilai $p = 1$. Secara matematis grafik kendali EWMA dirumuskan sebagai berikut (Montgomery, 2013):

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}. \quad (2.6)$$

Dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah banyaknya pengamatan $Z_0 = \mu_0$ atau dapat ditulis $Z_0 = \bar{x}$, dan λ adalah pembobot yang memiliki nilai $0 < \lambda \leq 1$. Nilai awal (diperlukan dengan sampel pertama pada $i = 1$) adalah

$$Z_0 = \bar{x}.$$

Pada saat $i = 1$,

$$\begin{aligned} Z_1 &= \lambda x_1 + (1 - \lambda)Z_0 \\ &= \lambda x_1 + (1 - \lambda)\bar{x}. \end{aligned}$$

Pada saat $i = 2$,

$$Z_2 = \lambda x_2 + (1 - \lambda)Z_1.$$

Dengan mengganti Z_1 dengan $\lambda x_1 + (1 - \lambda)\bar{x}$, $j = 0, 1, \dots, i$ maka

$$\begin{aligned} Z_2 &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)Z_1 \\ &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)(\lambda x_1 + (1 - \lambda)\bar{x}) \\ &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)\lambda x_1 + (1 - \lambda)^2 \bar{x} \\ &= \lambda(x_2 + (1 - \lambda)x_1) + (1 - \lambda)^2 \bar{x} \\ &= (1 - \lambda)^2 \bar{x} + \lambda \sum_{j=0}^1 (1 - \lambda)^j \bar{x}_{2-j}. \end{aligned}$$

Untuk $i = 3$,

$$Z_3 = \lambda x_3 + (1 - \lambda)Z_2.$$

Dengan mengganti Z_2 dengan $\lambda(x_2 + (1 - \lambda)x_1) + (1 - \lambda)^2 \bar{x}$, maka

$$\begin{aligned} Z_3 &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)Z_2 \\ &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)(\lambda(x_2 + (1 - \lambda)x_1) + (1 - \lambda)^2 \bar{x}) \\ &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)(\lambda(x_2 + (1 - \lambda)x_1) + (1 - \lambda)(1 - \lambda)^2 \bar{x}) \\ &= \lambda(x_3 + (1 - \lambda)x_2 + (1 - \lambda)^2 x_1) + (1 - \lambda)^3 \bar{x} \\ &= (1 - \lambda)^3 \bar{x} + \lambda \sum_{j=0}^2 (1 - \lambda)^j x_{3-j}. \end{aligned}$$

Sehingga untuk $j = i$ diperoleh

$$Z_i = (1 - \lambda)^i \bar{x} + \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \lambda)^j x_{i-j}. \quad (2.7)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa EWMA Z_i adalah rata-rata terboboti dari semua rata-rata sampel sebelumnya. Batas kendali atas (UCL) dan batas kendali bawah (LCL) untuk grafik kendali EWMA dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}]}, \quad (2.8)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]}, \quad (2.9)$$

$$CL = \mu_0.$$

Dengan μ_0 merupakan garis tengah dari batas kendali, L merupakan lebar batas kendali yang setara dengan $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ untuk $\alpha = 0.0027$, σ adalah simpangan baku dari tiap pengamatan, dan λ adalah nilai pembobot.

(Montgomery,2013) menjelaskan pengembangan dari EWMA menjadi multivariat EWMA untuk X_1, X_2, \dots, X_n secara matematis didefinisikan sebagai berikut:

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}. \quad (2.10)$$

Untuk Z_i merupakan vektor berukuran $p \times 1$, x_i merupakan vektor random berukuran $p \times 1$ dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah banyaknya pengamatan, $Z_0 = 0$, $\lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ dengan $0 < \lambda_j \leq 1$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, p$ adalah banyaknya variabel. Jika nilai $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_p = \lambda$ maka persamaan (2.6) menjadi:

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}. \quad (2.11)$$

Nilai awal (diperlukan dengan sampel pertama pada $i = 1$) adalah

$$Z_0 = 0.$$

Pada saat $i = 1$,

$$\begin{aligned} Z_1 &= \lambda x_1 + (1 - \lambda)Z_0 \\ &= \lambda x_1. \end{aligned}$$

Pada saat $i = 2$,

$$Z_2 = \lambda x_2 + (1 - \lambda)Z_1$$

Dengan mengganti Z_1 dengan λx_1 , maka

$$\begin{aligned}
 Z_2 &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)Z_1 \\
 &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)\lambda x_1 \\
 &= \lambda(x_2 + (1 - \lambda)x_1).
 \end{aligned}$$

Untuk $i = 3$,

$$Z_3 = \lambda x_3 + (1 - \lambda)Z_2.$$

Dengan mengganti Z_2 dengan $\lambda x_2 + (1 - \lambda)\lambda x_1$, $j = 0, 1, \dots, i$ maka

$$\begin{aligned}
 Z_3 &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)Z_2 \\
 &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)(\lambda x_2 + (1 - \lambda)\lambda x_1) \\
 &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)\lambda x_2 + (1 - \lambda)^2 \lambda x_1 \\
 &= \lambda(x_3 + (1 - \lambda)x_2 + (1 - \lambda)^2 x_1) \\
 &= \lambda \sum_{j=0}^2 (1 - \lambda)^j x_{3-j}.
 \end{aligned}$$

Untuk $i = 4$,

$$Z_4 = \lambda x_4 + (1 - \lambda)Z_3$$

Dengan mengganti Z_3 dengan $\lambda x_3 + (1 - \lambda)\lambda x_2 + (1 - \lambda)^2 \lambda x_1$, maka

$$\begin{aligned}
 Z_4 &= \lambda x_4 + (1 - \lambda)Z_3 \\
 &= \lambda x_4 + (1 - \lambda)(\lambda x_3 + (1 - \lambda)\lambda x_2 + (1 - \lambda)^2 \lambda x_1) \\
 &= \lambda x_4 + (1 - \lambda)\lambda x_3 + (1 - \lambda)^2 \lambda x_2 + (1 - \lambda)^3 \lambda x_1 \\
 &= \lambda(x_4 + (1 - \lambda)x_3 + (1 - \lambda)^2 x_2 + (1 - \lambda)^3 x_1) \\
 &= \lambda \sum_{j=0}^3 (1 - \lambda)^j x_{4-j},
 \end{aligned}$$

Langkah di atas dilakukan hingga $i = n$ dengan n adalah banyaknya pengamatan

untuk $j = 0, 1, \dots, n$ Sehingga diperoleh Z_i sebagai berikut

$$Z_i = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \lambda)^j x_{i-j}$$

Sehingga, jika terdapat lebih dari satu variabel karakteristik (multivariat) menjadi bentuk matriks $p \times n$, dengan $k = 1, \dots, p$ adalah banyak variabel dan $i = 1, 2, \dots, n$ adalah banyaknya pengamatan

$$\begin{matrix} Z_{1k_1} & Z_{1k_2} \cdots & Z_{1k_p} \\ \vdots & \vdots \ddots & \vdots \\ Z_{nk_1} & Z_{nk_2} \cdots & Z_{nk_p} \end{matrix}$$

Grafik kendali MEWMA dapat memberikan sinyal out-of-control dalam grafik kendali untuk tiap pengamatan dengan nilai statistik multivariate exponentially weighted moving average (MEWMA) melalui persamaan berikut (Lowry et al, 1992):

$$T_i^2 = Z_i' \sum_{Z_i}^{-1} Z_i. \quad (2.12)$$

Z_i merupakan vektor berukuran $p \times 1$ dengan Σ_{Z_i} adalah matriks varian kovarian dari Z_i , maka saat $i = 1$ dan $k = 1, \dots, n$ adalah

$$\begin{aligned} T_1^2 &= Z_1' \Sigma_{Z_1}^{-1} Z_1 \\ &= [Z_{11} \dots Z_{1k}]' \Sigma_{Z_1}^{-1} [Z_{11} \dots Z_{1k}] \\ &= \begin{bmatrix} Z_{11} \\ \vdots \\ Z_{1k} \end{bmatrix} \Sigma_{Z_1}^{-1} [Z_{11} \dots Z_{1k}]. \end{aligned}$$

Nilai T_i^2 dapat memberikan sinyal *out-of-control* dengan membandingkannya terhadap *upper control limit* (UCL) yang bisa disimbolkan dengan h_4 , dan Σ_{Z_i} adalah matriks kovarian dari Z_i yang berukuran $p \times p$ yang didapat melalui persamaan sebagai berikut:

$$\Sigma_{Z_i} = \frac{\lambda_j \lambda_k [1 - (1 - \lambda_j)^i (1 - \lambda_k)^i]}{[\lambda_j + \lambda_k - \lambda_j \lambda_k] \sigma_{j,k}}. \quad (2.13)$$

Jika $\lambda = \text{diag}((\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p))$ dengan matriks Σ merupakan matriks varian kovarian dari X_i dan,

$$\Sigma_{Z_i} = \left\{ \frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]}{(2-\lambda)} \right\} \Sigma. \quad (2.14)$$

Jika $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_p = \lambda$. Pendekatan nilai UCL diperoleh dari hasil simulasi dan pilih untuk mencapai ARL (*Average Run Length*) yang terkontrol. *Lower control limit* (LCL) untuk peta kendali MEWMA adalah 0. Hal ini disebabkan oleh nilai T_i^2 yang selalu positif, dimana nilai yang paling minimum dari suatu nilai positif adalah 0 (montgomery, 2013). Pemilihan nilai pembobot (λ) yang optimal dapat diketahui dengan tiga cara, yaitu :

1. Menghitung banyaknya nilai pengamatan yang *out-of-control* untuk setiap pembobot (λ) atau,
2. Menghitung selisih terkecil antara pengamatan yang memiliki nilai T_i^2 terbesar dengan nilai UCL (jayanti dan wibawati, 2014).
3. Menghitung nilai rata rata minimum dari jarak nilai T_i^2 tiap pengamatan terhadap nilai UCL untuk setiap pembobot (sari dkk., 2016).

Pengendalian proses statistik memiliki tujuan utama sebagai upaya meminimumkan variabilitas produk dan stabilitas proses produksi. Variabilitas produk dapat disebabkan oleh banyak hal, diantaranya adalah variabel yang berpeluang menyebabkan proses dalam keadaan tidak terkendali secara statistik. Pendekatan yang dapat digunakan adalah grafik kendali univariat EWMA untuk masing masing variabel. Grafik kendali EWMA merupakan bentuk dasar dari grafik kendali MEWMA, sehingga proses perhitungannya sesuai dengan persamaan (2.5), nilai pembobot

yang digunakan adalah nilai pembobot optimum yang sesuai dengan grafik kendali MEWMA. Variabel yang kemungkinan menyebabkan proses dalam keadaan tidak terkendali secara statistik dapat diketahui dengan menghitung banyaknya pengamatan yang *out-of-control* pada masing-masing grafik kendali EWMA (septiana dkk., 2018). Pengendalian selanjutnya dapat difokuskan pada variabel-variabel yang memiliki banyaknya pengamatan *out-of-control* terbanyak.

2.7 Perusahaan Daerah Air Minum

Berdasarkan profil PDAM Hazora (2017), PDAM Hazora adalah perusahaan daerah air minum yang berada di wilayah kerja Kabupaten Jember. PDAM Hazora memiliki tanggung jawab melayani kebutuhan air minum masyarakat Kabupaten Gresik sesuai dengan Perda Kabupaten Jember Nomor 14 Tahun 2013. PDAM Hazora memiliki visi dan misi yang menjadi acuan kerja perusahaan. Visi PDAM Hazora adalah mewujudkan PDAM Hazora sebagai perusahaan yang semakin sehat dan mampu memenuhi kebutuhan air minum masyarakat secara bertahap dan berkesinambungan. Adapun misi PDAM Hazora antara lain:

1. Meningkatkan kapasitas produksi;
2. Meningkatkan standar kualitas, kuantitas, dan kontinuitas;
3. Meningkatkan fungsi – fungsi manajemen;
4. Meningkatkan rasio cakupan pelanggan;
5. Meningkatkan kualitas SDM dan kesejahteraan pegawai;
6. Menurunkan NRW;

7. Memberikan kontribusi pada PAD.

PDAM Hazora melayani 11 kecamatan (110 desa) dari 18 kecamatan yang ada di Kabupaten Jember. Jumlah pelanggan PDAM Hazora mengalami peningkatan disetiap tahunnya. Pada tahun 2017, PDAM Hazora telah memiliki 91516 pelanggan yang tersebar di 11 kecamatan.

2.8 Proses Produksi Air

Proses produksi air PDAM Hazora dilakukan oleh empat IPA yang telah bekerja sama dengan pemerintah Kabupaten Jember. Instalasi Pengolahan Air Bedadung adalah salah satu IPA yang dimiliki oleh PDAM Jember. Kapasitas produksi air di IPA Bedadung mencapai 550 l/detik, namun sampai saat ini IPA Bedadung hanya memproduksi dengan kapasitas kurang lebih 480 l/detik. Instalasi pengolahan air brantas memiliki empat *plant* IPA, yang masing – masing terdiri atas intake, clarifier, filter, dan reservoir. Air baku yang digunakan oleh IPA Bedadung berasal dari sungai bedadung yang kemudian disimpan dalam intake. Saat ditampung dalam intake, air baku akan diberi tambahan tawas untuk membentuk koagulan dalam air. Pemberian tawas sangat berkaitan dengan tingkat kekeruhan air hasil produksi (Dini dan Indarjanto, 2011).

Selanjutnya air akan memasuki clarifier, yang di dalamnya terdapat unit flokulasi dan sedimentasi. Pada tahap inilah, terjadi pemisahan antara air bersih dan air kotor. Selanjutnya air kotor akan dibuang untuk kemudian diteruskan ke sungai, sedangkan air bersih akan memasuki filter. Air yang berada dalam filter akan mengalami filtrasi flok-flok halus yang masih terdapat dalam air. Tahap terakhir yaitu air bersih akan memasuki reservoir dan proses injeksi gas klor

sebagai desinfektan untuk membunuh bakteri atau kuman yang masih terdapat dalam air. Air yang terdapat dalam reservoir dan telah terinjeksi gas klor inilah yang siap untuk didistribusikan ke masyarakat dalam bentuk air bersih.

2.9 Parameter Kualitas Air

Air merupakan salah satu unsur penting dalam kehidupan. Bumi dan atmosfer mengandung banyak air, sekitar tujuh persen massa bumi terdiri atas air (Tebbutt, 1998). Air dimanfaatkan sebagai media pengangkutan unsur hara atau zat-zat makanan, sumber energi, dan berbagai keperluan lainnya yang diperlukan untuk kehidupan makhluk hidup seperti manusia, hewan dan tumbuhan (Sasongko dkk., 2014). Sebanyak 75% dari berat badan balita dan 55% dari berat badan lansia terdiri atas air yang penting untuk homeostasis seluler dan kehidupan (Popkin *et al.*, 2010). Air yang tersedia tidak dapat dikonsumsi secara langsung. Tentunya harus dapat dipastikan bahwa air tersebut tidak berbahaya bagi kesehatan. Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010 telah mengatur dan menetapkan beberapa parameter wajib dan tambahan sebagai persyaratan kualitas air minum. Berikut beberapa parameter kualitas air minum berdasarkan Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010.

Tabel 2.1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
a. Parameter Mikrobiologis		
1. <i>E. Coli</i>	Jumlah per 100 ml sampel	0

2. Total bakteri koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
b. Kimia an-organik		
1. Nitrit	mg/l	3
2. Nitrat	mg/l	50
3. Arsen	mg/l	0,01
4. Fluorida	mg/l	1,5
5. Total kromium	mg/l	0,05
6. Kadmium	mg/l	0,003
7. Selenium	mg/l	0,01
Parameter yang tidak berhubungan langsung dengan kesehatan		
a. Parameter Fisik		
1. Total zat terlarut (TDS)	mg/l	500
2. Kekeruhan	NTU	5
3. Suhu	°C	Suhu udara ± 3
4. Warna	TCU	15
5. Bau		Tidak Berbau
6. Rasa		Tidak Berasa
b. parameter kimiawi		
1. pH		6,5 – 8,5
2. Klorida	mg/l	250
3. Sulfat	mg/l	250
4. Alumunium	mg/l	0,2
5. Besi	mg/l	0,3
6. Mangan	mg/l	0,4
7. Tembaga	mg/l	2
8. Kesadahan	mg/l	500
9. Seng	mg/l	3
10. Amoniak	mg/l	1,5

(Sumber: Permenkes RI Nomor 492 Tahun 2010)

Parameter dibagi menjadi dua. Pertama, parameter wajib yaitu karakteristik kualitas produk air minum yang wajib diikuti dan ditaati oleh seluruh produsen air minum. Kedua, parameter tambahan yaitu parameter yang ditetapkan sesuai kondisi lingkungan daerah oleh pemerintah daerah. Setiap parameter memiliki kadar maksimum yang berbeda-beda. Jika terdapat kandungan – kandungan tersebut yang melebihi kadar maksimum, tentu akan memiliki efek bagi kesehatan baik secara langsung maupun tidak langsung. Penelitian ini memuat sembilan variabel kualitas air yang merupakan parameter kimia wajib persyaratan kualitas air minum, yaitu nitrat (NO_3), nitrit (NO_2), pH, sisa *chlor* (Cl_2), flourida (F), aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn).

2.9.1 Nitrit (NO_2) dan Nitrat (NO_3)

Nitrit dan nitrat adalah dua dari empat bentuk senyawa nitrogen dalam air. Senyawa nitrogen memiliki peranan penting dalam rekasi biologis. Air yang mengandung kadar organik dan nitrogen amoniak yang tinggi dengan sedikit kandungan nitrit dan nitrat dianggap relatif tidak aman karena kemungkinan keberadaan polusi dalam air. Sebaliknya, air yang tidak mengandung organik dan nitrogen amoniak dengan beberapa kandungan nitrit dan nitrat dianggap relatif lebih aman. Hal ini disebabkan oleh nitrifikasi yang telah terjadi dengan kemungkinan kecil keberadaan polusi dalam air.

2.9.2 pH

Intensitas keasaman atau alkalinitas bisa diukur menggunakan skala pH, yang sebenarnya adalah mengukur konsentrasi ion hydrogen yang ada. Terdapat

banyak reaksi kimia yang dikendalikan oleh pH, begitu pula dengan reaksi biologis yang terbatas pada rentang pH yang cukup sempit yaitu 5 – 8. Air yang memiliki tingkat keasaman tinggi sangat tidak diperkenankan, karena dapat menyebabkan masalah korosi dan memerlukan perawatan yang sulit.

2.9.3 Klorin

Klorin sangat beracun bagi ikan dan organisme lain dalam kadar yang sangat tinggi, namun klorin sangat efektif sebagai agen desinfektan untuk membunuh bakteri yang terkandung dalam air. Efisiensi desinfeksi klorin sangat bergantung pada pH dan kandungan klorin dapat bergabung dengan organik tertentu sehingga membentuk karsinogen. Pada umumnya, klorin tidak ditemukan secara alami, namun biasa diproduksi dari generasi elektrolit NaCl.

2.9.4 Fluorida

Kandungan flour yang membentuk florida terjadi secara alami dan tidak kumulatif. Seperti yang diketahui, dalam tingkat yang rendah florida dapat membangun kekerasan gigi dan ketahanan terhadap rongga. Namun dalam jumlah yang berlebihan dapat berakibat fatal dan menyebabkan bintik-bintik gigi.

2.9.5 Aluminium

Keberadaan aluminium sebagai senyawa logam terjadi secara alami dan biasa digunakan dalam air dan pengolahan air limbah sebagai aluminium sulfat $[Al_2(SO_4)_3]$. Pemberian tawas dalam proses pengolahan air membentuk endapan

aluminium hidroksida dan aluminium diduga sebagai penyumbang penyakit Alzheimer.

2.9.6 Besi

Senyawa besi tidak semuanya dapat larut dalam air, hanya Fe^{+2} yang dapat larut dalam air. Keberadaan besi dalam air mengakibatkan noda merah dari limbah untuk kandungan antara 2 hingga 10 mg/l.

2.9.7 Mangan

Mangan memiliki sifat yang mirip dengan senyawa besi. Namun, mangan lebih sulit dihilangkan dan dapat menyebabkan noda hitam dari limbah. (Tebbutt, 1998 dan Alley, 2007).

2.10 Kajian Keagamaan Tentang Menjaga Karakteristik Kualitas

Segala sesuatu yang ada dalam jangkauan manusia adalah amanah Allah Subhanahu Wata'ala. Agama adalah amanahnya, bumi dan segala isinya adalah amanahnya, bahkan jiwa raga setiap manusia dengan segala yang melekat pada tubuh manusia tersebut juga amanah Allah yang semua itu harus di rawat dan dikembangkan. Amanah manusia kepada manusia mencakup banyak hal, tidak hanya harta benda yang dititipkan, atau ikatan perjanjian yang disepakati, melainkan juga rahasia yang dibisikkan. Contohnya produsen dan konsumen. Produsen harus memperhatikan kualitas yang diberikan untuk menjaga amanah konsumen, seperti disebutkan dalam ayat Al-Qur'an surah Al-Muthaffifin ayat 1-3 yang artinya:

“celakalah bagi orang-orang yang mengurangi takaran!. Yang jika mereka (untuk dirinya) dari orang lain, mereka menakar dengan penuh. Tetapi ketika mereka menakar atau menimbang untuk orang lain, mereka menguranginya”.

Al-Jaizari (2009:842) menafsirkan firmanNya, *“kecelakaan besarlah bagi orang-orang yang curang”*, Allah Ta’ala mengancam dengan lembah neraka jahannam yang penuh dengan nanah penduduk neraka untuk mereka yang selalu mengurangi takaran dan timbangan sesama di dunia. Maka Allah Ta’ala menjelaskan dengan firmanNya, *“(yaitu) orang-orang yang apabila menerima takaran dari orang lain mereka minta dipenuhi”*, maksudnya ketika mereka membeli barang dari orang lain, mereka akan meminta agar takaran dan timbangan dipenuhi. Akan tetapi, apabila mereka menjual (menakar untuk orang lain), maka mereka akan menguranginya.

Sebagaimana dalam Al-qur’an surah As-Syu’ara’ ayat 181-183 yang artinya:

“sempurnakanlah takaran dan janganlah kamu termasuk orang-orang yang merugikan. Dan timbanglah dengan timbangan yang lurus. Dan janganlah kamu merugikan manusia pada hak-haknya dan janganlah kamu merajalela di muka bumi dengan membuat kerusakan.”

Penafsiran dari arti surah di atas adalah jika kalian berjualan, maka takarlah pembelian mereka dengan sempurna, dan janganlah kalian merugikan hak mereka sehingga kalian memberikannya dalam keadaan kurang. Kemudian jika kalian membeli maka ambillah seperti jika kalian menjual. Timbangkanlah dengan timbangan timbangan yang lurus dan adil. Janganlah kalian mengingkari hak orang lain dalam takaran, timbangan atau lain-lain, seperti pengukuran dan perhitungan. (Al-Maragi, 1993:184-185). Menjaga karakteristik kualitas yang

dimaksud adalah kualitas air sebagaimana disebutkan pada Q.S Al-Qasas (28):77 yang artinya:

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu negeri akhirat, dan janganlah melupakan bagianmu dari dunia dan berbuat baiklah, sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu, dan janganlah engkau berbuat kerusakan di bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai para pembuat kerusakan.”

Kata *ahsin* terambil dari kata *hasan* yang berarti baik. Patron kata yang digunakan ayat ini berbentuk perintah dan membutuhkan objek. Namun objeknya tidak disebut, sehingga ia mencakup segala sesuatu yang dapat disentuh oleh kebaikan, bermula terhadap lingkungan, harta benda, tumbuh-tumbuhan, binatang, manusia, baik orang lain maupun diri sendiri.

Selanjutnya kata *kama* pada ayat di atas dipahami oleh banyak ulama dalam arti sebagaimana. Ada juga ulama yang enggan memahaminya demikian, karena betapa pun besarnya upaya manusia berbuat baik, pasti dia tidak dapat melakukan “sebagaimana” yang dilakukan Allah. Atas dasar itu banyak ulama memahami kata *kama* dalam arti “disebabkan karena”, yakni karena Allah telah melimpahkan aneka karunia, maka seharusnya manusiapun melakukan ihsan dan upaya perbaikan sesuai kemampuannya.

Dalam ayat tersebut mengandung arti bahwa adanya perintah untuk melakukan perbaikan sesuai dengan kemampuannya bagi seluruh manusia. Allah telah menciptakan alam dengan seimbang dan teratur. Menjadikan air yang ada di bumi dengan kadar yang cukup bagi kebutuhan makhluk hidup. Namun apabila terjadi gangguan keseimbangan keberadaan air di bumi, maka perlu adanya tindakan dan langkah-langkah untuk mengembalikan keseimbangan itu atau yang lebih di kenal dengan pelestarian.

Pada dasarnya, manusialah yang mempunyai peranan paling penting dalam menentukan dan bertanggung jawab terhadap pemeliharaan air yang ada di sekitarnya. Oleh sebab itu, Allah memerintahkan kepada manusia untuk meningkatkan kualitasnya diberbagai bidang. Dan sebaliknya, Allah melarang manusia untuk berbuat keburukan, yang pada akhirnya akan merugikan manusia.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan bantuan studi literatur yang dilakukan dengan cara mengkaji buku-buku yang berkaitan dengan penelitian kuantitatif. Selanjutnya menganalisis proses pengendalian kualitas produksi data multivariat, yang akan dikaji terlebih dahulu tentang konsep dasar grafik pengendali univariat, yang dikhususkan terhadap jumlah karakteristik kualitas produk.

3.2 Data dan Sumber Data

Penelitian ini memanfaatkan data sekunder tentang kualitas air mineral PDAM Hazora Kabupaten Jember. Data yang digunakan mulai 15 Juli 2017 hingga 23 September 2017 dengan jumlah data sebanyak 60 pengamatan. Data tersebut mencakup beberapa parameter kualitas air PDAM Hazora Kabupaten Jember.

3.3 Variabel Penelitian

Parameter kualitas air minum yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 9 variabel yang merupakan parameter kimia wajib sesuai ketentuan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492 Tahun 2010. Variabel-variabel tersebut diantaranya adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Skala	Satuan
Nitrit (NO ₂)	Kontinu	mg/l
Nitrat (NO ₃)	Kontinu	mg/l
pH	Kontinu	-
Sisa <i>Chlor</i>	Kontinu	mg/l
Fluorida (F)	Kontinu	mg/l
Aluminium (Al)	Kontinu	mg/l
Besi (Fe)	Kontinu	mg/l
Mangan (Mn)	Kontinu	mg/l

3.4 Langkah- Langkah Analisis

Langkah langkah analisis ini digunakan untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian. Adapun langkah langkah analisis antara lain sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan data kualitas proses produksi air, yang mana hasilnya mencakup rata rata, varian, nilai maksimum dan nilai minimum.
2. Menganalisis dan menginterpretasikan grafik kendali MEWMA pada proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember. Pembuatan grafik kendali MEWMA untuk data kualitas proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember dengan langkah langkah sebagai berikut:
 - a. Menguji dependensi variabel
 - b. Menguji normalitas multivariat
 - c. Membuat grafik kendali MEWMA dengan langkah langkah:
 - i. Menentukan nilai pembobot λ untuk masing masing varibel,
 - ii. Menghitung nilai Z_i untuk $i = 1,2,3 \dots,60$ dengan persamaan (2.11),

- iii. Menghitung nilai T_i^2 untuk $i = 1, 2, 3, \dots, 60$ dengan persamaan (2.12),
 - iv. Membuat grafik kendali MEWMA dengan membuat plot untuk nilai T_i^2 tiap pengamatan dengan bantuan minitab 17,
 - v. Menganalisis ada tidaknya pengamatan diluar batas kendali,
 - vi. Mengulangi langkah (iii) hingga menemukan nilai pembobot λ optimum, dan
 - vii. Menginterpretasikan grafik kendali MEWMA dengan nilai pembobot λ optimum.
- d. Mendeteksi variabel penyebab out-of-control menggunakan peta kendali univariat EWMA untuk masing masing variabel, adapun langkah langkahnya sebagai berikut:
- i. Menentukan nilai pembobot sesuai dengan nilai pembobot optimum pada grafik kendali MEWMA,
 - ii. Menghitung nilai Z_i untuk $i = 1, 2, \dots, 60$ dengan persamaan (2.6),
 - iii. Menghitung nilai UCL dan LCL pada peta kendali EWMA dengan persamaan (2.7) dan (2.8),
 - iv. Membuat plot untuk nilai Z_i tiap pengamatan dengan bantuan minitab 17, dan
 - v. Menghitung banyaknya pengamatan *out-of-control*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Deskriptif Karakteristik Kualitas Air PDAM

Air yang diproduksi oleh PDAM Kabupaten Jember bersumber dari air sungai Bedadung sebagai air baku untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat Jember. Statistik Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (SKLHK, 2017) mencatat status mutu kualitas sungai bedadung berada dalam keadaan tercemar berat. Status mutu tersebut membuat PDAM Hazora harus dapat memastikan air produksi yang berdistribusi ke masyarakat telah bebas dari bahan-bahan pencemar dengan pengelolaan air yang tepat. Masyarakat juga perlu mengetahui gambaran umum karakteristik kualitas air produksi PDAM Hazora yang mencakup delapan parameter kimia wajib yaitu nitrat (NO_3), nitrit (NO_2), pH, sisa *chlor*, fluorida (F), aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn). Berikut tersaji analisis deskriptif karakteristik kualitas air PDAM Hazora pada bulan Juli 2017- September 2017 dari 60 pengamatan.

Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Air PDAM Hazora Kabupaten Jember

Variabel	mean	Varian	min	max	Batas spesifikasi
Nitrit (NO_2)	1,250	0,631	0	3	< 3 mg/l
Nitrat (NO_3)	8,077	14,576	3,3	21,2	< 50 mg/l
pH	7,348	0,048	7,02	7,85	6,5 - 8,5
Sisa <i>Chlor</i>	0,070	0,019	0,01	1,1	< 1 mg/l
Fluorida (F)	0,332	0,092	0,01	1,51	< 1,5 mg/l
Sianida (Cn)	0,004	0,000008	0,001	0,012	< 0,07 mg/l
Alumunium (Al)	0,026	0,00085	0,002	0,155	< 0,2 mg/l
Besi (Fe)	0,179	0,092	0,004	1,78	< 0,3 mg/l
Mangan (Mn)	0,038	0,002	0,001	0,287	< 0,4 mg/l

Berdasarkan tabel 4.1 di atas secara umum, kadar senyawa-senyawa tersebut dalam air produksi PDAM Hazora telah berada dalam spesifikasi yang telah ditentukan dan ditetapkan oleh kementerian kesehatan melalui permenkes RI No. 492 Tahun 2010. Namun, pada variabel nitrit (NO_2), sisa *chlor*, fluorida (F), dan besi (Fe) terdapat pengamatan yang memiliki kadar lebih dari atau sama dengan spesifikasi yang ditentukan. Hal ini dapat diketahui melalui nilai maksimum yang masih berada diluar batas spesifikasi. Variabel nitrit (NO_2) memiliki nilai maksimum sebesar 3,00, variabel sisa chlor memiliki nilai maksimum sebesar 1,100, variabel fluorida (F) memiliki nilai maksimum sebesar 1,5100, dan variabel besi (Fe) memiliki nilai maksimum sebesar 1,7800. Lima variabel lainnya masih berada dalam batas spesifikasi yang ditentukan oleh Permenkes RI No. 492 Tahun 2010. Penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Kadar Setiap Variabel Berdasarkan Batas Spesifikasi

Variabel	Banyaknya Pengamatan		
	< Batas Spesifikasi	= Batas Spesifikasi	> Batas Spesifikasi
Nitrit (NO_2)	59	1	0
Nitrat (NO_3)	60	0	0
pH	60	0	0
Sisa <i>Chlor</i>	59	0	1
Fluorida (F)	59	0	1
Aluminium (Al)	60	0	0
Besi (Fe)	53	0	7
Mangan (Mn)	60	0	0

Berdasarkan Tabel 4.2 diantara 9 variabel kualitas air, terdapat lima variabel yang seluruh pengamatannya selama periode Juli 2016 hingga September 2016 memiliki kadar senyawa kurang dari batas spesifikasi. Variabel tersebut adalah nitrat (NO_3), pH, aluminium (Al), dan mangan (Mn) Artinya, sampel sampel air yang diambil oleh PDAM Hazora memiliki kadar senyawa yang telah sesuai dengan

spesifikasi. Pada variabel nitrit (NO_2), sisa *chlor*, dan fluorida (F) terdapat satu pengamatan yang memiliki kadar senyawa lebih dari batas spesifikasi, sedangkan 59 pengamatan yang lain memiliki kadar yang kurang dari batas spesifikasi. Variabel besi (Fe) memiliki tujuh pengamatan yang kadar senyawanya lebih dari batas spesifikasi, hal ini patut diperhatikan oleh pihak PDAM Hazora karena terdapat tujuh sampel air yang memiliki kadar besi (Fe) melebihi batas spesifikasi dan tentunya memiliki dampak bagi lingkungan maupun kesehatan.

Jika memperhatikan tingkat variansi pada Tabel 4.1, variabel nitrat (NO_3) memiliki nilai varian tertinggi yaitu 14,576. Selanjutnya diikuti oleh variabel nitrit (NO_2), besi (Fe), fluorida (F), pH, sisa *chlor*, mangan (Mn), aluminium (Al). Artinya, pada data kualitas air PDAM Hazora periode Juli 2019 – September 2019 variabel NO_3 memiliki variasi yang paling heterogen jika dibandingkan dengan variabel lainnya. Berdasarkan gambaran umum di atas, kadar senyawa -senyawa kimia pada air produksi PDAM Hazora sebagian besar masih berada dalam batas spesifikasi untuk setiap variabelnya dan telah memenuhi aturan yang ditetapkan oleh Permenkes RI No. 492 Tahun 2010.

4.2 Grafik Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) Pada Proses Produksi Air PDAM

Pengendalian kualitas menjadi salah satu unsur penting dari perusahaan. Hal ini disebabkan oleh kualitas produk menjadi acuan dalam pengontrolan baik dan buruknya suatu proses produksi yang sedang berjalan. PDAM Hazora mengolah air baku menjadi air produksi yang tentunya melewati berbagai macam tahapan. Peta kendali MEWMA menjadi salah satu alat yang dapat digunakan

untuk mengontrol suatu proses produksi telah berjalan dengan baik atau tidak. Peta kendali ini sensitif terhadap pergeseran kecil rata-rata proses dari variabel yang berdistribusi normal multivariat. Pengendalian kualitas proses multivariat dapat dilakukan jika terdapat hubungan antar variabel kualitas. Selain itu dalam proses perbaikan suatu variabel kualitas yang saling berhubungan, memperbaiki satu variabel kualitas belum tentu dapat memperbaiki variabel kualitas yang lain sehingga diperlukan teknik perbaikan yang optimum untuk seluruh variabel kualitas.

Penggunaan peta kendali MEWMA membutuhkan dua asumsi yang harus terpenuhi, yaitu asumsi dependensi variabel dan asumsi normalitas multivariat. Berikut uji asumsi dependensi variabel dan uji asumsi normalitas multivariat manual.

4.2.1 Uji Dependensi Variabel

Terdapat sembilan variabel kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu nitrat (NO_3), nitrit (NO_2), pH, sisa *chlor*, fluorida (F), aluminium (Al), besi (Fe), dan mangan (Mn). Diperlukan pemeriksaan apakah antar variabel-variabel tersebut saling dependen atau tidak. Uji dependensi ini menggunakan uji Bartlett dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 adalah data saling independen,

H_1 adalah data saling dependen.

H_0 ditolak jika nilai X_{hitung}^2 lebih dari $X_{\alpha,df}^2$. Nilai α ditentukan sebesar 0,05 dan df sebesar 28, sehingga didapat nilai tabel $X_{0,05;28}^2$ sebesar 50,99846. Hasil

perhitungan nilai X_{hitung}^2 dengan persamaan (2.1) dijelaskan pada tabel berikut (hasil perhitungan lengkap terdapat pada lampiran 3).

Tabel 4.3 uji dependensi variabel

X_{hitung}^2	Banyaknya variabel (p)	Df
79,479623	8	28

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan nilai X_{hitung}^2 (79,479623) lebih dari $X_{0,05;28}^2$ (50,99846) sehingga didapat keputusan menolak H_0 dan disimpulkan bahwa data saling dependen atau terdapat hubungan antar variabel kualitas air tersebut. Hasil uji Bartlett ini memenuhi asumsi dalam penggunaan peta kendali MEWMA, maka dilanjutkan dengan pengujian asumsi normalitas multivariat.

4.2.2 Uji Normalitas Multivariat

Selain asumsi dependensi variabel, asumsi lain yang harus terpenuhi adalah normalitas multivariat. Pengujian normalitas multivariat dalam penelitian ini menggunakan statistik uji d_i^2 dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 adalah data berdistribusi normal multivariat,

H_1 adalah data tidak berdistribusi normal multivariat.

H_0 ditolak jika terdapat 50% dari seluruh pengamatan memiliki nilai d_i^2 yang lebih dari $X_{\alpha;df}^2$. Nilai α ditentukan sebesar 0,05 dan df sebesar 8, sehingga nilai $X_{0,05;8}^2$ sebesar 16,91898. Hasil perhitungan nilai d_i^2 untuk setiap pengamatan dengan persamaan (2.3) dijelaskan pada tabel berikut (hasil perhitungan lengkap terdapat pada lampiran 4)

Tabel 4.4 uji normalitas multivariat

d_i^2 dengan $i = 1, 2, \dots, 60$	Banyaknya nilai d_i^2	
	$d_i^2 \leq (X_{0,05;8}^2 = 16,918)$	$d_i^2 > (X_{0,05;8}^2 = 16,918)$
6,95	1	
28,47		1
4,90	1	
4,88	1	
7,12	1	
9,03	1	
4,93	1	
7,87	1	
7,18	1	
1,69	1	
2,65	1	
8,20	1	
9,04	1	
12,11	1	
3,05	1	
7,55	1	
3,75	1	
3,87	1	
5,42	1	
4,35	1	
2,81	1	
2,17	1	
5,46	1	
2,49	1	
10,95	1	
20,16		1
11,74	1	
10,73	1	
9,08	1	
2,42	1	
4,35	1	
1,77	1	
55,29		1
33,71		1
10,95	1	
4,59	1	
6,35	1	
9,91	1	
4,19	1	
20,72		1
8,23	1	
18,73		1
6,64	1	

15,60	1	
4,64	1	
18,25		1
4,87	1	
1,93	1	
5,09	1	
6,64	1	
1,94	1	
5,20	1	
11,59	1	
3,39	1	
4,31	1	
9,62	1	
17,77		1
5,99	1	
5,53	1	
1,93	1	

Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan nilai d_i^2 sebanyak 60 pengamatan yang kurang dari sama dengan $X_{0,05;8}^2$ (16,91898) adalah sebanyak 52, sedangkan nilai d_i^2 yang lebih dari $X_{0,05;8}^2$ (16,91898) adalah sebanyak 8. Berdasarkan hasil tersebut didapat keputusan menerima H_0 karena terdapat lebih dari 50% nilai d_i^2 yang kurang dari atau sama dengan $X_{0,05;8}^2$ (16,91898), sehingga dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal multivariat. Hasil uji normalitas multivariat ini memenuhi asumsi dalam penggunaan grafik kendali MEWMA, maka dilanjutkan dengan penggunaan peta kendali MEWMA.

4.2.3 Grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

Pada penelitian ini ada delapan karakteristik kualitas yaitu $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$, disajikan dalam vektor 8×1 sebagai berikut

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_8 \end{bmatrix}$$

Multivariat EWMA didefinisikan sebagai

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (4.1)$$

Dengan

$$Z_i : \text{vektor MEWMA ke-}i \quad Z_i = \begin{bmatrix} Z_{1i} \\ Z_{2i} \\ \vdots \\ Z_{9i} \end{bmatrix}, i = 1, 2, \dots, 60$$

$$\lambda : \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_8 \end{pmatrix}, 0 < \lambda_p \leq 1, p = 1, 2, \dots, 8; \lambda_p$$

$$X_i : \text{vektor karakteristik kualitas yang diamati pada sampel ke-}i, X_i = \begin{bmatrix} X_{1i} \\ X_{2i} \\ \vdots \\ X_{8i} \end{bmatrix},$$

Saat sampel pertama diasumsikan nilai awal X_0 dan Z_0 yaitu pada $i = 1$ adalah

$$X_0 = \begin{bmatrix} X_{10} \\ X_{20} \\ \vdots \\ X_{80} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \text{ dan } Z_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Nilai awal Z_0 diperlukan untuk menghitung Z_1 dengan sampel pertama pada $i = 1$ maka diperoleh

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}$$

$$Z_1 = \lambda x_1 + (1 - \lambda)Z_0$$

Dan untuk $i = 2$ diperoleh

$$Z_2 = \lambda x_2 + (1 - \lambda)Z_1$$

Dengan mengganti Z_1 dengan $\lambda x_1 + (1 - \lambda)Z_0$ maka diperoleh

$$\begin{aligned} Z_2 &= \lambda x_2 + (1 - \lambda)[\lambda x_1 + (1 - \lambda)Z_0] \\ &= \lambda x_2 + \lambda(1 - \lambda)X_1 + (1 - \lambda)^2 Z_0 \end{aligned}$$

Untuk $i = 3$ diperoleh

$$Z_3 = \lambda x_3 + (1 - \lambda)Z_2$$

Dengan mengganti Z_2 dengan $\lambda x_2 + \lambda(1 - \lambda)X_1 + (1 - \lambda)^2 Z_0$ maka diperoleh

$$\begin{aligned} Z_3 &= \lambda x_3 + (1 - \lambda)[\lambda x_2 + (1 - \lambda)\lambda x_1 + (1 - \lambda)^2 Z_0] \\ &= \lambda \sum_{j=0}^2 (1 - \lambda)^j x_{3-j} + (1 - \lambda)^3 Z_0 \end{aligned}$$

Langkah diatas dilakukan hingga $i = 60$ sehingga untuk Z_n diperoleh

$$Z_n = \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \lambda)^j x_{i-j} + (1 - \lambda)^n Z_0 \quad (4.2)$$

$$= \lambda \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \lambda)^j x_{i-j} \quad (4.3)$$

Selanjutnya akan dihitung kovarian dari Z_i , yang akan digunakan untuk menghitung nilai (T_i^2) . Dengan menghitung Z_i , terlebih dahulu untuk $i = 1$ maka diperoleh

$$\begin{aligned} Z_i &= \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X_{11} \\ X_{21} \\ X_{31} \\ X_{41} \\ X_{51} \\ X_{61} \\ X_{71} \\ X_{81} \end{bmatrix} + \\ & \begin{pmatrix} 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 - \lambda & 0 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X_{11} \\ X_{21} \\ X_{31} \\ X_{41} \\ X_{51} \\ X_{61} \\ X_{71} \\ X_{81} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \lambda X_{11} \\ \lambda X_{21} \\ \lambda X_{31} \\ \lambda X_{41} \\ \lambda X_{51} \\ \lambda X_{61} \\ \lambda X_{71} \\ \lambda X_{81} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (1 - \lambda)X_{10} \\ (1 - \lambda)X_{20} \\ (1 - \lambda)X_{30} \\ (1 - \lambda)X_{40} \\ (1 - \lambda)X_{50} \\ (1 - \lambda)X_{60} \\ (1 - \lambda)X_{70} \\ (1 - \lambda)X_{80} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 X_{11} + (1 - \lambda)X_{10} \\ \lambda_2 X_{21} + (1 - \lambda)X_{20} \\ \lambda_3 X_{31} + (1 - \lambda)X_{30} \\ \lambda_4 X_{41} + (1 - \lambda)X_{40} \\ \lambda_5 X_{51} + (1 - \lambda)X_{50} \\ \lambda_6 X_{61} + (1 - \lambda)X_{60} \\ \lambda_7 X_{71} + (1 - \lambda)X_{70} \\ \lambda_8 X_{81} + (1 - \lambda)X_{80} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} \\ Z_{21} \\ Z_{31} \\ Z_{41} \\ Z_{51} \\ Z_{61} \\ Z_{71} \\ Z_{81} \end{bmatrix} \quad (4.5) \end{aligned}$$

Didefinisikan kovarian dari Z_i sebagai berikut,

$$\text{cov}(Z_1) = \Sigma_{Z_1}$$

$$= \begin{bmatrix} \text{Var}(Z_{11}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{21}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{31}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{11}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{21}) & \text{Var}(Z_{21}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{31}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{31}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{31}) & \text{Var}(Z_{31}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{41}) & \text{Var}(Z_{41}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{51}) & \text{Var}(Z_{51}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{61}) & \text{Var}(Z_{61}) & \text{Cov}(Z_{61}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{61}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{61}, Z_{71}) & \text{Var}(Z_{71}) & \text{Cov}(Z_{71}, Z_{81}) \\ \text{Cov}(Z_{11}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{21}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{31}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{41}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{51}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{61}, Z_{81}) & \text{Cov}(Z_{71}, Z_{81}) & \text{Var}(Z_{81}) \end{bmatrix}$$

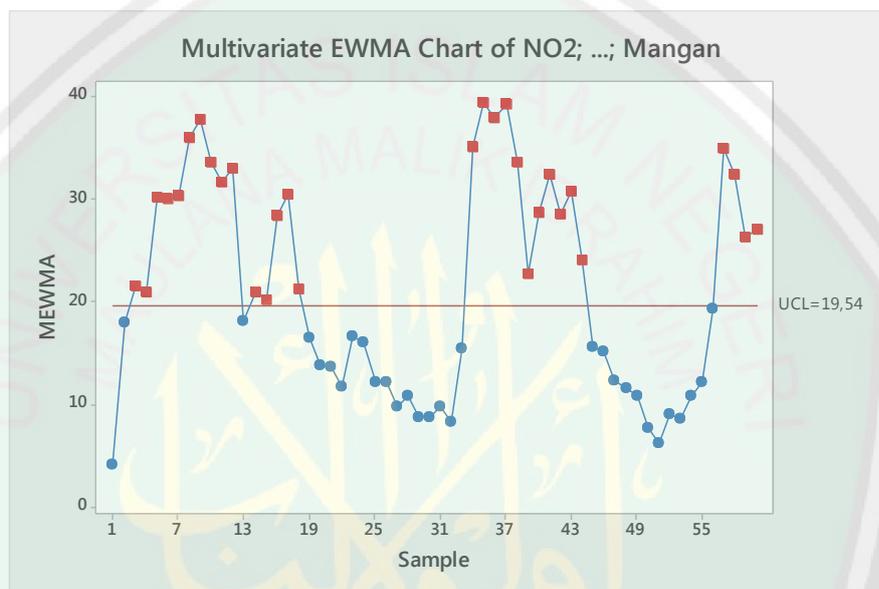
Maka nilai statistik MEWMA adalah

$$\begin{aligned} T_1^2 &= Z_1' \Sigma_{Z_1}^{-1} Z_1 \\ &= [Z_{11} \dots Z_{1k}]' \Sigma_{Z_1}^{-1} [Z_{11} \dots Z_{1k}] \\ &= \begin{bmatrix} Z_{11} \\ \vdots \\ Z_{1k} \end{bmatrix} \Sigma_{Z_1}^{-1} [Z_{11} \dots Z_{1k}] \\ T_i^2 &= Z_i' \Sigma_{Z_i}^{-1} Z_i \end{aligned} \quad (4.4)$$

Penggunaan peta kendali MEWMA pada data kualitas air PDAM Hazora Kabupaten Jember menggunakan *microsoft excel* selanjutnya dicek menggunakan *software* minitab 17. Pada *software* minitab, perhitungan peta kendali MEWMA telah diatur dengan beberapa ketentuan yang mencakup nilai ARL (*Average Run Length*) sebesar 200. Nilai ARL tersebut merupakan nilai ARL_0 untuk peta kendali MEWMA dengan mengasumsikan bahwa proses dalam keadaan terkendali ketika grafik dimulai (Montgomery, 2013). Selain itu pembobot (λ) dimulai dari 0,1 dan dapat diubah sesuai dengan kehendak peneliti dengan syarat $0 < \lambda \leq 1$. Pada penelitian sebelumnya tidak ada pembobotan tertentu untuk data kualitas air PDAM Giri Tirta, maka pada penelitian ini dilakukan pemilihan pembobot yang optimum. Pembobot dipilih 0,1 dan pembobot bernilai sama untuk setiap variabel, sehingga nantinya akan terbentuk peta kendali MEWMA dengan pembobot yang sama.

Peta kendali MEWMA dapat memberikan sinyal *out-of-control* melalui

nilai T_i^2 untuk $i=1,2,\dots,60$ melalui persamaan (2.11). Nilai h_4 yang merupakan UCL diperoleh dari hasil simulasi dan ditampilkan pada *software* minitab 17. Pada peta kendali MEWMA memiliki nilai LCL yang selalu 0, disebabkan oleh nilai T_i^2 yang selalu positif dan nilai paling minimum dari suatu nilai positif adalah 0. Pembobotan dengan nilai λ sama dengan 0,1 disajikan pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Grafik Kendali MEWMA Untuk Nilai $\lambda=0,1$

Berdasarkan gambar 4.1 nilai T_i^2 tertinggi adalah sebesar 39,33 yaitu pada pengamatan ke-35. Pada peta kendali MEWMA dengan nilai λ sebesar 0,1 menunjukkan nilai UCL sebesar 19,54 dan terdapat 30 pengamatan yang memiliki nilai T_i^2 lebih dari nilai UCL (hasil perhitungan nilai T_i^2 terdapat pada lampiran 5). Beberapa pengamatan yang *Out-Of-Control* diantaranya pengamatan ke 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 57, 58, 59, dan 60. Berdasarkan Gambar 4.1 juga diketahui rata rata proses kualitas air PDAM Hazora secara multivariat dapat dikatakan belum terkendali secara statistik karena masih terdapat banyak pengamatan yang *out-of-ontrol*.

Selain itu, proses dapat dikatakan belum stabil jika diperhatikan dari grafik yang naik turun secara fluktuatif.

Berikut disajikan tabel 4.5 untuk memperjelas hasil percobaan pembobot pada grafik kendali MEWMA.

Tabel 4.5 kriteria setiap pembobot (λ) pada grafik kendali MEWMA

Pembobot (λ)	Nilai T_i^2 tertinggi	Nilai UCL	Banyaknya <i>out-of-control</i>
0,1	39,33	19,45	30
0,2	57,59	20,87	27
0,3	68,74	21,40	22
0,4	74,96	21,66	16
0,5	78,09	21,80	12
0,6	78,55	21,87	9
0,7	76,71	21,92	8
0,8	73,07	21,94	7
0,9	68,25	21,95	5

Berdasarkan tabel 4.5 dapat diamati jika pembobot semakin besar, maka nilai UCL juga mengalami peningkatan. Hal ini mengakibatkan batas kendali untuk setiap peta kendali MEWMA menjadi semakin besar dan banyaknya nilai T_i^2 yang lebih besar dari nilai UCL semakin berkurang. Diantara sembilan pembobot yang telah diketahui, perlu dipilih satu pembobot yang optimum. Pemilihan nilai pembobot (λ) yang optimum dapat diketahui dengan tiga cara, yaitu:

1. Menghitung banyaknya nilai pengamatan yang *out-of-control* untuk setiap pembobot (λ) atau;
2. Menghitung selisih terkecil antara pengamatan yang memiliki nilai T_i^2 terbesar dengan nilai UCL (Jayanti dan Wibawati, 2014) atau;
3. Menghitung nilai rata-rata minimum dari jarak nilai T_i^2 tiap pengamatan terhadap nilai UCL untuk setiap pembobot (Sari dkk., 2016)

Pemilihan pembobot optimum disajikan pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 pemilihan pembobot optimum untuk data kualitas proses produksi air PDAM Hazora

Pembobot (λ)	Nilai T_i^2 tertinggi	Nilai UCL	Selisih	Rata-rata jarak nilai T_i^2 terhadap UCL
0,1	58,61	21,12	37,49	10,84
0,2	62,34	22,48	39,86	11,97
0,3	70,90	23,02	47,88	12,32
0,4	76,33	23,29	53,04	12,42
0,5	79,14	23,43	55,71	12,49
0,6	79,49	23,51	55,98	12,79
0,7	77,61	23,55	54,06	13,21
0,8	73,96	23,57	50,39	13,65
0,9	69,13	23,59	45,54	14,23

Berdasarkan tabel 4.6 dapat dipilih pembobot yang optimum adalah peta kendali MEWMA dengan pembobot 0,1 karena memiliki selisih minimum sebesar 37,49 dan rata rata jarak nilai T_i^2 terhadap nilai UCL yang paling minimum sebesar 10,8. Peta kendali MEWMA dengan pembobot 0,1 telah memenuhi kriteria pemilihan pembobot optimum, maka nilai pembobot 0,1 dipilih sebagai pembobot optimum. Selanjutnya, diperlukan langkah untuk mengidentifikasi penyebab *out-of-control* karena dengan pembobot yang optimum masih terdapat 32 pengamatan yang *out-of-control* atau lebih dari nilai UCL (seperti pada gambar 4.1).

4.2.4 Deteksi Variabel Penyebab Out-Of-Control

Perbaikan kualitas yang dilakukan harus sesuai dengan sasaran. Penting bagi PDAM Hazora untuk mengetahui variabel mana yang membuat proses berada dalam keadaan tidak terkendali. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan, menggunakan peta kendali univariat EWMA untuk masing-masing variabel. Nilai pembobot yang digunakan adalah nilai pembobot optimum dari peta kendali MEWMA yaitu sebesar 0,1. Penjelasan lebih lanjut tersaji pada tabel berikut (gambar peta kendali terdapat pada lampiran 13 hingga lampiran 23).

Tabel 4.7 penggunaan grafik kendali EWMA untuk masing-masing variabel

Variabel	Banyaknya pengamatan <i>in-control</i>	Banyaknya pengamatan <i>out-of-control</i>
Nitrit (NO ₂)	60	0
Nitrat (NO ₃)	58	2
pH	60	0
Sisa Chlor	53	7
Fluorida (F)	32	0
Alumunium (Al)	50	10
Besi (Fe)	49	11
Mangan (Mn)	54	6

Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui variabel besi (Fe) memiliki pengamatan *out-of-control* terbanyak, yaitu 11 pengamatan. Hal ini mungkin disebabkan terdapat adanya 7 sampel air PDAM yang memiliki kadar besi (Fe) melebihi batas spesifikasi.

Variabel nitrat(NO₃), sisa chlor, alumunium (Al), dan mangan (Mn) juga memiliki pengamatan yang *out-of-control*. Oleh sebab itu, perbaikan kualitas proses produksi dapat lebih difokuskan pada kadar nitrat (NO₃), sisa chlor, alumunium (Al), besi (Fe), dan mangan(Mn). Artinya dalam proses produksi air PDAM Hazora harus memperhatikan kadar senyawa-senyawa tersebut dan melakukan pengolahan yang tepat untuk 5 variabel terkait guna memperbaiki kualitas proses produksi air PDAM. Selain itu, PDAM Hazora juga dapat melakukan pengawasan dan pemantauan pada kejadian-kejadian tertentu yang menyebabkan kadar senyawa tersebut melebihi batas spesifikasi. Hal ini akan sangat berdampak pada pemilihan langkah dalam perbaikan kualitas proses produksi air PDAM Hazora dan menjadi sebuah langkah preventif jika kejadian tersebut terulang dikemudian hari.

4.3 Kajian Agama Manfaat Menjaga Kualitas Proses Produksi

Islam dengan segala kesempurnaan, kemuliaan dan keluhuran ajarannya, memerintahkan umatnya untuk menjalin muamalah dengan sesama atas dasar keadilan dan keridhaan. Kualitas merupakan salah satu faktor yang menentukan banyaknya pengguna produk tersebut. Dalam proses produksi, perlu adanya grafik kendali untuk memonitor karakteristik kualitas agar produk yang dihasilkan memenuhi standar perusahaan. Apabila kualitas tetap terjaga, maka konsumen akan tetap menggunakan produk tersebut dan konsumen akan bertambah. Sebagaimana firman Allah tentang menyempurnakan timbangan dan takaran pada surah Ar-Rahman ayat 9 yang artinya *“dan tegakkanlah timbangan itu dengan adil dan janganlah kamu mengurangi neraca itu”*, dilanjutkan dengan surah al-an’am ayat 152 yang artinya *“dan sempurnakanlah takaran dan timbangan dengan adil. Kami tidak memikul beban kepada seseorang melainkan sekedar kesanggupannya”*.

Syaikh asy-Syinqithi rahimahumullah menafsirkan melalui ayat ini, Allah memerintahkan penyempurnaan takaran dan timbangan dengan adil. Dan menyatakan bahwa siapa saja yang tanpa kesengajaan terjadi kekurangan pada takaran dan timbangannya, tidak mengapa karena tidak sengaja.

Shihab (2002:463) dalam menafsirkan surah al-isra’ ayat 35 yang artinya *“dan sempurnakanlah takaran apabila kamu menakar, dan timbanglah dengan neraca yang benar. Itulah yang lebih utama (bagimu) dan lebih baik akibatnya”*.

Salah satu hal yang berkaitan dengan hak pemberian harta adalah menakar dengan sempurna, ayat ini melanjutkan dengan menyatakan bahwa *sempurnakanlah secara sungguh-sungguh takaran apabila kamu menakar* untuk pihak lain *dan timbanglah dengan neraca yang lurus* yakni yang benar dan adil. *Itulah yang*

baik bagi kamu dan orang lain karena demikian orang akan percaya kepada kamu sehingga semakin banyak yang berinteraksi dengan kamu dan melakukan hal itu *lebih bagus akibatnya* bagi kamu diakhirat nanti dan bagi seluruh masyarakat dalam kehidupan di dunia ini.

Penyempurnaan takaran dan adil dalam menimbang memberikan rasa aman, ketentraman, kesejahteraan hidup masyarakat. Semua dapat tercapai melalui keharmonisan hubungan antara anggota masyarakat, bila masing-masing memberi apa yang berlebih dari kebutuhannya dan menerima yang seimbang dengan haknya. Tentu saja memerlukan rasa aman menyangkut alat ukur, baik takaran maupun timbangan. Siapa yang membenarkan bagi dirinya mengurangi hak seseorang, maka rasa aman tidak akan tercipta, dan ini tentu saja tidak baik bagi perorangan dan masyarakat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan grafik kendali MEWMA untuk mendeteksi pergeseran rata rata kualitas proses produksi air PDAM pada bulan Juli-Desember 2017 tidak terkendali secara statistik karena untuk pembobot (λ) = 0,1 terdapat 30 pengamatan yang berada diluar batas kendali, yakni pada pengamatan ke-3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 57, 58, 59, dan 60. Banyaknya titik yang berada diluar batas kendali menunjukkan bahwa grafik pengendali MEWMA sangat sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses. Hasil analisis deskriptif untuk delapan variabel kualitas air PDAM Hazora kabupaten Jember menunjukkan sebagian besar kadar senyawa kimia yang terkandung dalam sampel air PDAM berada dibawah batas maksimum atau batas spesifikasi yang ditetapkan. Jika diamati pada tingkat variansinya, variabel Nitrat (NO_3) memiliki nilai variansi yang paling tinggi diantara tujuh variabel kualitas air lainnya.
2. Grafik kendali MEWMA yang optimal untuk data kualitas air PDAM Hazora kabupaten Jember adalah peta kendali MEWMA dengan pembobot 0,1 dan nilai UCL sebesar 19,45. Hal ini disebabkan pembobot tersebut memiliki nilai selisih dan rata-rata jarak tiap pengamatan terhadap UCL

yang paling minimum. Grafik kendali tersebut menunjukkan, proses produksi air PDAM Hazora Kabupaten Jember belum terkendali secara statistik karena terdapat 30 pengamatan yang berada diluar batas kendali atas (UCL). Hasil deteksi variabel penyebab out-of-control menggunakan grafik kendali univariat EWMA menunjukkan 5 variabel memiliki pengamatan out-of-control. Variabel yang mungkin menjadi penyebab utama proses dalam keadaan *out-of-control* adalah besi (Fe) dan aluminium (Al) karena memiliki banyaknya pengamatan *out-of-control* terbanyak, yakni 11 dan 10 pengamatan. Namun, kadar 3 variabel lainnya dalam air produksi patut untuk mendapat perhatian lebih.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan analisis yang diperoleh, saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagi penelitian selanjutnya

Penelitian selanjutnya akan lebih baik jika menggunakan lebih banyak variabel tentang kualitas baik secara kimia, fisik, maupun biologis. Dan jumlah pengamatan yang lebih banyak, sehingga dapat mengganbarkan apakah proses produksi terkait telah terkontrol atau tidak. Banyaknya variabel yang dileliti juga dapat mengetahui variabel mana yang sebenarnya membuat suatu proses dalam keadaan tidak terkendali secara statistik.

2. Bagi PDAM Hazora kabupaten Jember

Pengawasan dan pencatatan parameter kualitas air sangat penting dilakukan. Alangkah lebih baik jika semua parameter kualitas air dapat diuji secara

berkala, sehingga dapat memperbaiki proses produksi dan memperbaiki kualitas air. Seperti jumlah bakteri koliform E. Coli. Selain itu, pengawasan terhadap kinerja instalasi dan prosedur pengolahan air juga menjadi salah satu upaya untuk memperbaiki kualitas air dan proses produksi.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jazairi, A.B.J. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisan*. Terjemahan Fityan Amaliy dan Edi Suwanto. Jakarta: Darus Sunnah Press.
- Al-Maragi, A.M. 1993. *Terjemahan Tafsir Al-Maragi, Terjemahan Abu Bakar B. Dkk*. Semarang: Toha Putra.
- Alley, E. R. 2007. *Water Quality Control Handbook Second Edition*, McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America.
- Anggraini, Q. D., Haryono, dan Aksioma, D. F. 2016. Pengendalian Kualitas Proses Produksi The Hitam di PT. Perkebunan Nusantara XII Unit Sirah Kencong. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. **5(2)**: 2337-3520.
- Anonim. 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/ MENKES/ PER/ IV/ 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Anonim. 2017. *Statistik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2016*. Kementerian Lingkungan hidup dan Kehutanan, Jakarta.
- Anonim. 2016. *Profil Perusahaan Daerah Air Minum Hazora Kabupaten Jember tahun 2016*, PDAM Hazora, Jember.
- Ariani, D.W., (2004). "*Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas)*". Yogyakarta: Andi Offset.
- As-Shihab, M. Q. 2004. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan Dan Keserasian Al-Quran*. Jakarta: Lentera Hati. 341-344
- Bartlett, M. S. 1951. The Effect of Standardization on a X^2 Approximation in Factor Analysis. *Biometrika*. **38(3/4)**: 337-344.
- Chakraborti, D., Rahman, M. M., Ahamed, S., Dutta., R. N., Pati, S., and Mukherjee, S. C. 2016, Arsenic groundwater contamination and its health effects in Patna district (capital of Bihar) in the middle Ganga plain, India. *Chemosphere*. **152**: 520-529.
- Dewantara, C.R & Mashuri, M. 2013. Penerapan Multivariate *Exponentially Weighted Moving Average Chart* Pada Proses Pembuatan Boiler di PT. ALSTOM ESI Surabaya. (Online), (http://digilib.its.ac.id/public/ITS_-_paper_-28920-1309100101-paper.pdf), diakses 12 september 2019 22:00.
- Dini, P. R., dan Indarjanto, H. W. 2011. *Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Minum Legundi Pdam Gresik Unit 4 (100 Liter/ Detik)*. Tugas Akhir

Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: ITS.

Firat, S. U. O. and Aricigil, C. C. 2000. Multivariate Quality Control: A Historical Perspective. *Conference Paper: First International Symposium on Business Administration*. Canakkale: Turkey.

Guppy, L. and Anderson, K. 2017. *Water Crisis Report*, United Nation University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH). Hamilton: Canada.

Ishikawa, K., (1994). "Introduction to Quality Control". Tokyo: JUSE Press Ltd.

Jayanti, J. D., dan Wibawati. 2014. Penerapan Diagram Kontrol MEWMA dan MEWMV Pada Pengendalian Kualitas Air Produksi Di IPAM Ngagel I, *Jurnal Sains dan Seni POMIT*. **3(2)**: 2337-3520.

Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis Sixth Edition*. Pearson Education, Inc. New Jersey.

Khoo, M. B. C. 2004. An Extension for the Univariate Exponentially Weighted Moving Average Control Charts. *Jurnal Matematika UTM*. **20(1)**: 43-48.

Lowry, C. A., Woodall, W. H., Champ, C. W., and Rigdon, S. E. 1992. A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*. **34(1)**: 46-53.

Montgomery, D. C. 2013. *Introduction to Statistical Quality Control Seventh Edition*. John Wiley & Sons, Inc. United State of America.

Popkin, B. M., D'Anci, E. K., and Rosenberg, I. H. 2010. Water, Hydration and Health, *Nutr Rev, National Institute of Health*. **68(8)**: 436-458.

Sari, S. P., Devianto, D., dan Yanuar, F. 2016. Pengontrolan Bahan Baku Produksi Semen Jenis PCC Di PT. Semen Padang dengan Menggunakan Diagram Kontrol MEWMA. *Jurnal Matematika UNAND*. **5(3)**: 7-14.

Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah pesan, kesan dan keseriusan Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.

Sasongko, E. B., Widyastuti, E., dan Priyono, R. E. 2014. Kajian Kualitas Air dan Penggunaan Sumur Gali Oleh Masyarakat Di Sekitar Sungai Kaliyasa Kabupaten Cilacap. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. **12(2)**: 78-82.

Septiana, N. D., Aksioma, D. F., dan Haryono. 2018. *Pengendalian Kualitas Air PDAM Surya Sembada Kota Surabaya Pada Instalasi Ngagel II Menggunakan Peta Kendali Multivariat*. Tugas Akhir Mahasiswa Jurusan Statistika Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data Institut

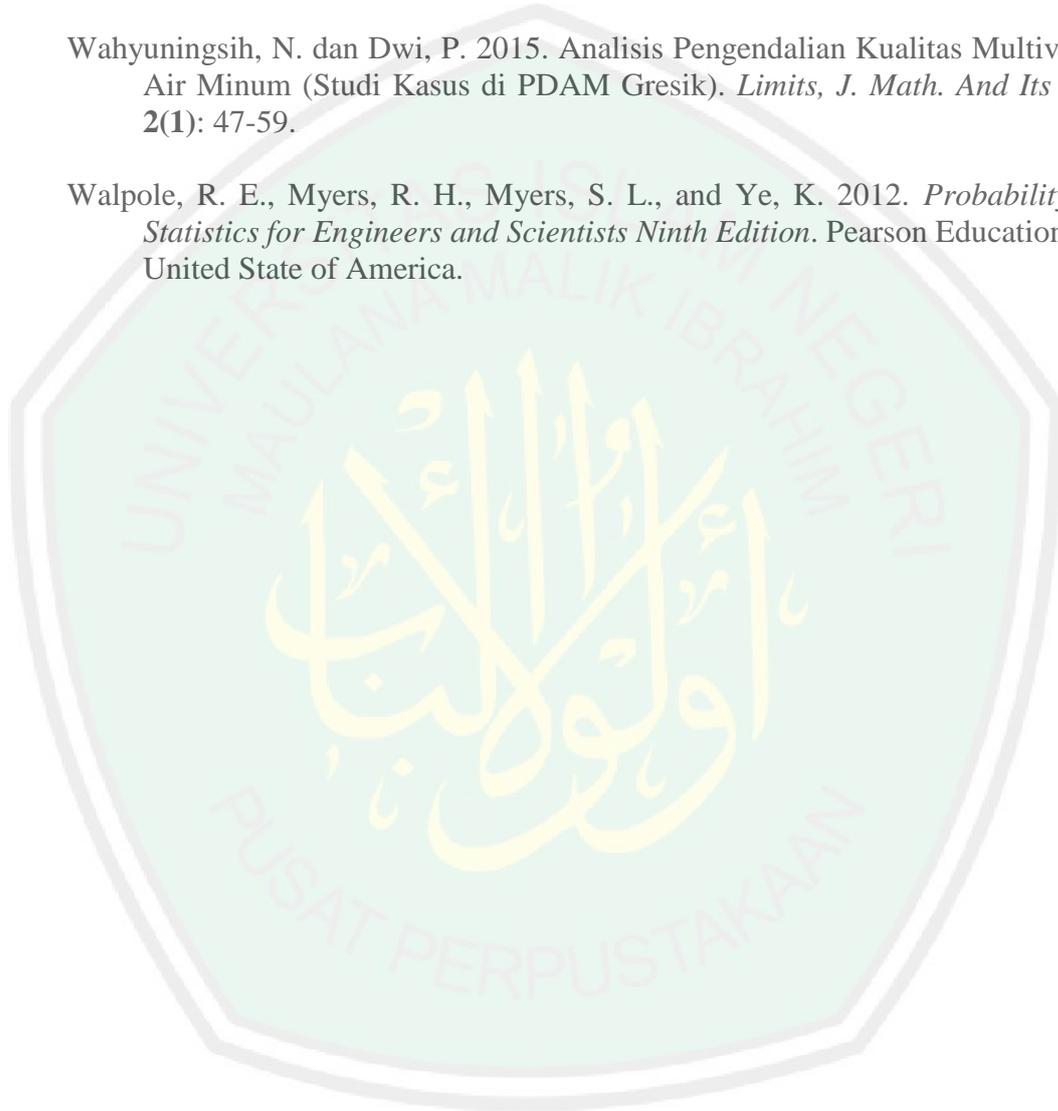
Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: ITS.

Suryaningtyas, W. & Mashuri, M. 2013. *Interpretasi Sinyal Out Of Control Pada Diagram Kontrol Multivariate*. (Online), ([http://digilib.its.ac.id/public/ITS-master-13378-paper .pdf](http://digilib.its.ac.id/public/ITS-master-13378-paper.pdf)), diakses 12 september 2019.

Tebbutt, T. H. Y. 1998. *Principles of Water Quality Control 5th Edition*. Butterworth – Heinemann. Oxford.

Wahyuningsih, N. dan Dwi, P. 2015. Analisis Pengendalian Kualitas Multivariate Air Minum (Studi Kasus di PDAM Gresik). *Limits, J. Math. And Its Appl.* 2(1): 47-59.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., and Ye, K. 2012. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists Ninth Edition*. Pearson Education, Inc. United State of America.



Lampiran 1. Data sekunder kualitas air PDAM Hazora Kabupaten Jember

no.	NO ₂	NO ₃	pH	Sisa <i>Chlor</i>	Fluorida	Alumu- nium	Besi	Mangan
1	1	5,2	7,11	0,07	0,31	0,0098	0,004	0,004
2	2	8,6	7,54	0,02	0,084	0,002	1,78	0,124
3	1	5,1	7,12	0,04	0,048	0,008	0,46	0,046
4	0	3,9	7,21	0,03	0,036	0,007	0,15	0,034
5	2	3,3	7,12	0,05	0,21	0,006	0,51	0,032
6	2	4,5	7,61	0,03	0,46	0,005	0,48	0,016
7	1	8,1	7,11	0,02	0,031	0,008	0,16	0,004
8	1	7,5	7,35	0,03	0,028	0,012	0,74	0,009
9	2	3,9	7,04	0,02	0,47	0,016	0,11	0,038
10	1	8,2	7,12	0,05	0,34	0,009	0,15	0,042
11	1	7,6	7,16	0,06	0,062	0,021	0,14	0,036
12	0	9,2	7,02	0,04	0,071	0,004	0,36	0,025
13	2	7	7,58	0,03	0,82	0,089	0,11	0,014
14	2	8,9	7,06	0,02	0,38	0,078	0,25	0,017
15	2	7,2	7,48	0,03	0,29	0,06	0,02	0,008
16	2	8,1	7,11	0,04	0,06	0,072	0,06	0,004
17	1	7,6	7,05	0,03	0,35	0,056	0,03	0,003
18	0	9,1	7,21	0,05	0,34	0,034	0,04	0,041
19	2	9,6	7,72	0,02	0,26	0,032	0,08	0,024
20	2	6,3	7,65	0,04	0,38	0,008	0,06	0,025
21	1	3,5	7,14	0,05	0,34	0,012	0,25	0,033
22	1	7,1	7,24	0,03	0,14	0,034	0,07	0,074
23	2	4,8	7,12	0,04	0,27	0,014	0,24	0,046
24	1	5,3	7,21	0,03	0,39	0,004	0,14	0,034
25	2	6,6	7,84	0,01	0,61	0,029	0,06	0,018
26	2	10,7	7,63	0,01	0,48	0,014	1,45	0,098
27	2	11,9	7,71	0,01	0,04	0,015	0,26	0,16
28	2	7,8	7,6	0,2	0,01	0,023	0,01	0,086
29	0	3,9	7,47	0,05	0,07	0,004	0,02	0,014
30	1	4,7	7,25	0,04	0,29	0,006	0,08	0,024
31	0	3,8	7,24	0,02	0,14	0,012	0,09	0,033
32	1	8,4	7,41	0,05	0,08	0,034	0,14	0,011
33	2	9,1	7,45	1,1	0,37	0,023	0,08	0,026
34	2	11,9	7,58	0,1	0,11	0,005	0,11	0,287
35	0	11,7	7,14	0,04	0,09	0,047	0,24	0,124
36	1	12,5	7,16	0,08	0,45	0,004	0,04	0,08
37	1	7,2	7,77	0,05	0,32	0,006	0,02	0,078

38	0	4,6	7,48	0,04	0,07	0,071	0,03	0,014
39	2	10	7,45	0,06	0,36	0,077	0,1	0,001
40	2	9	7,24	0,06	0,31	0,155	0,04	0,013
41	2	4	7,74	0,04	0,3	0,074	0,05	0,008
42	3	3,3	7,4	0,05	1,51	0,022	0,19	0,024
43	1	12,1	7,27	0,03	0,08	0,088	0,04	0,006
44	2	17,3	7,26	0,02	1,14	0,014	0,2	0,029
45	1	11	7,25	0,08	0,08	0,008	0,07	0,032
46	0	4,5	7,36	0,09	1,14	0,006	0,05	0,014
47	0	12,3	7,28	0,05	0,05	0,007	0,02	0,033
48	1	7,8	7,38	0,06	0,36	0,012	0,04	0,078
49	2	4,1	7,45	0,09	0,89	0,025	0,08	0,016
50	2	3,4	7,57	0,1	0,36	0,011	0,03	0,004
51	1	9,2	7,15	0,08	0,39	0,014	0,02	0,008
52	1	13,1	7,45	0,09	0,48	0,036	0,04	0,045
53	2	4,5	7,85	0,15	0,15	0,008	0,1	0,016
54	1	13,8	7,36	0,08	0,48	0,041	0,13	0,041
55	0	11,2	7,25	0,04	0,08	0,018	0,03	0,006
56	0	17,5	7,19	0,07	0,14	0,024	0,18	0,047
57	2	21,2	7,36	0,09	0,69	0,018	0,06	0,019
58	1	7,5	7,13	0,08	0,87	0,009	0,03	0,016
59	0	3,6	7,28	0,06	0,36	0,008	0,14	0,017
60	1	9,8	7,39	0,05	0,37	0,007	0,05	0,036

Lampiran 2. Output Uji Dependensi Variabel

Uji Dependensi Variabel

H_0 : variabel saling independen

H_1 : variabel tidak saling dependen

Banyaknya variabel (p) : 8

Banyak pengamatan (n) : 60

Nilai chi-square ($X_{\alpha,df}^2$) :

$$\alpha = 0,05, df = \frac{8}{2}(8 - 1) = 28$$

$$X_{0,05;28}^2 = 50,99846$$

Matriks korelasi

	NO2	NO3	pH	Sisa Chlor	Fluorida	Alumunium	Besi	Mangan
NO2	1	-0,03436061	0,40826699	0,13057548	0,34876656	0,20569436	0,18807523	0,09307465
NO3	-0,03436061	1	-0,05109252	0,05048594	-0,00537753	0,10565508	0,01174179	0,25618786
pH	0,40826699	-0,05109252	1	0,09587220	0,08580726	0,00949148	0,09286646	0,20423610
Sisa Chlor	0,13057548	0,05048594	0,09587220	1	0,02597935	-0,04370889	-0,11461516	-0,01033708
Fluorida	0,34876656	-0,00537753	0,08580726	0,02597935	1	-0,00163888	-0,09456739	-0,19699695
Alumunium	0,20569436	0,10565508	0,00949148	-0,04370889	-0,00163888	1	-0,19822383	-0,23870446
Besi	0,18807523	0,01174179	0,09286646	-0,11461516	-0,09456739	-0,19822383	1	0,28707512
Mangan	0,09307465	0,25618786	0,20423610	-0,01033708	-0,19699695	-0,23870446	0,28707512	1

Determinan matriks korelasi $|R| = 0,2429092$

$$\ln |R| = -1,4150674$$

Statistik uji :

Nilai statistik uji Bartlett = 79,479623

H_0 ditolak, variabel tidak saling independen.

Lampiran 3. Output uji normalitas multivariat

Uji normalitas multivariat

H_0 adalah data berdistribusi normal multivariat

H_1 adalah data tidak berdistribusi normal multivariat

Jumlah data (n) : 60

Jumlah variabel (p) : 8

Taraf signifikansi α : 0,05

Menghitung nilai chi-square (α, df)

Chi-square (0,05;df) : 16,91898

Vektor rata rata:

[1] 1,2500 [2] 8,0766 [3] 7,3478 [4] 0,0698 [5] 0,3315
 [6] 0,0262 [7] 0,1785 [8] 0,0382

Matriks varian kovarian

	NO2	NO3	pH	Sisa Chlor	Fluorida	Alumunium	Besi	Mangan
NO2	0,631356	-0,104237	0,071398	0,014449	0,084144	0,004764	0,045449	0,003411
NO3	-0,104237	14,576395	-0,042933	0,026844	-0,006234	0,011757	0,013634	0,045113
pH	0,071398	-0,042933	0,048441	0,002939	0,005734	0,000061	0,006216	0,002073
Sisa Chlor	0,014449	0,026844	0,002939	0,019395	0,001099	-0,000177	-0,004854	-0,000066
Fluorida	0,084144	-0,006234	0,005734	0,001099	0,092194	-0,000015	-0,008733	-0,002759
Alumunium	0,004764	0,011757	0,000061	-0,000177	-0,000015	0,000849	-0,001757	-0,000321
Besi	0,045449	0,013634	0,006216	-0,004854	-0,008733	-0,001757	0,092494	0,004027
Mangan	0,003411	0,045113	0,002073	-0,000066	-0,002759	-0,000321	0,004027	0,002127

Invers matriks varian kovarian

	NO2	NO3	pH	Sisa Chlor	Fluorida	Alumunium	Besi	Mangan
NO2	2,690499	0,060762	-3,135091	-3,134188	-2,380648	-20,788141	-2,132411	-6,393915
NO3	0,060762	0,080321	0,096549	-0,331123	-0,102563	-2,299042	-0,077871	-2,438515
pH	-3,135091	0,096549	26,662849	1,190985	0,097026	4,135234	2,246368	-22,160705
Sisa Chlor	-3,134188	-0,331123	1,190985	68,743072	0,612817	36,150504	11,434263	17,134208
Fluorida	-2,380648	-0,102563	0,097026	0,612817	14,169608	30,376417	1,406995	24,153870
Alumunium	-20,788141	-2,299042	4,135234	36,150504	30,376417	1509,673077	29,929091	285,438330
Besi	-2,132411	-0,077871	2,246368	11,434263	1,406995	29,929091	16,747237	-12,276119
Mangan	-6,393915	-2,438515	-22,160705	17,134208	24,153870	285,438330	-12,276119	660,732695

Nilai d_i^2 adalah :

[1] 6,952552 28,47802 4,905774 4,88804 7,129015 9,032213 4,935462 7,87738 7,185387 1,691422
 [11] 2,651232 8,06735 9,04779 12,11382 3,055285 7,551721 3,750655 3,875959 5,421782 4,356777
 [21] 2,815567 2,17858 5,468473 2,492024 10,95684 20,16271 11,7455 10,73969 9,084384 2,423234
 [31] 4,354155 1,770329 55,29312 33,71382 10,9532 4,598644 6,356405 9,911176 4,195155 20,72006
 [41] 8,233862 18,73799 6,640483 15,60878 4,645704 18,25184 4,879152 1,932158 5,099398 6,645845
 [51] 1,949006 5,202236 11,59204 3,398866 4,310689 9,620365 17,77029 5,998845 5,538297 1,935104

H_0 diterima jika terdapat lebih dari 50% nilai d_i^2 yang kurang dari chi-square (α, df)

Nilai d_i^2 kurang dari chi-square (α, df) sebanyak 52

Nilai d_i^2 lebih dari chi-square (α, df) sebanyak 8

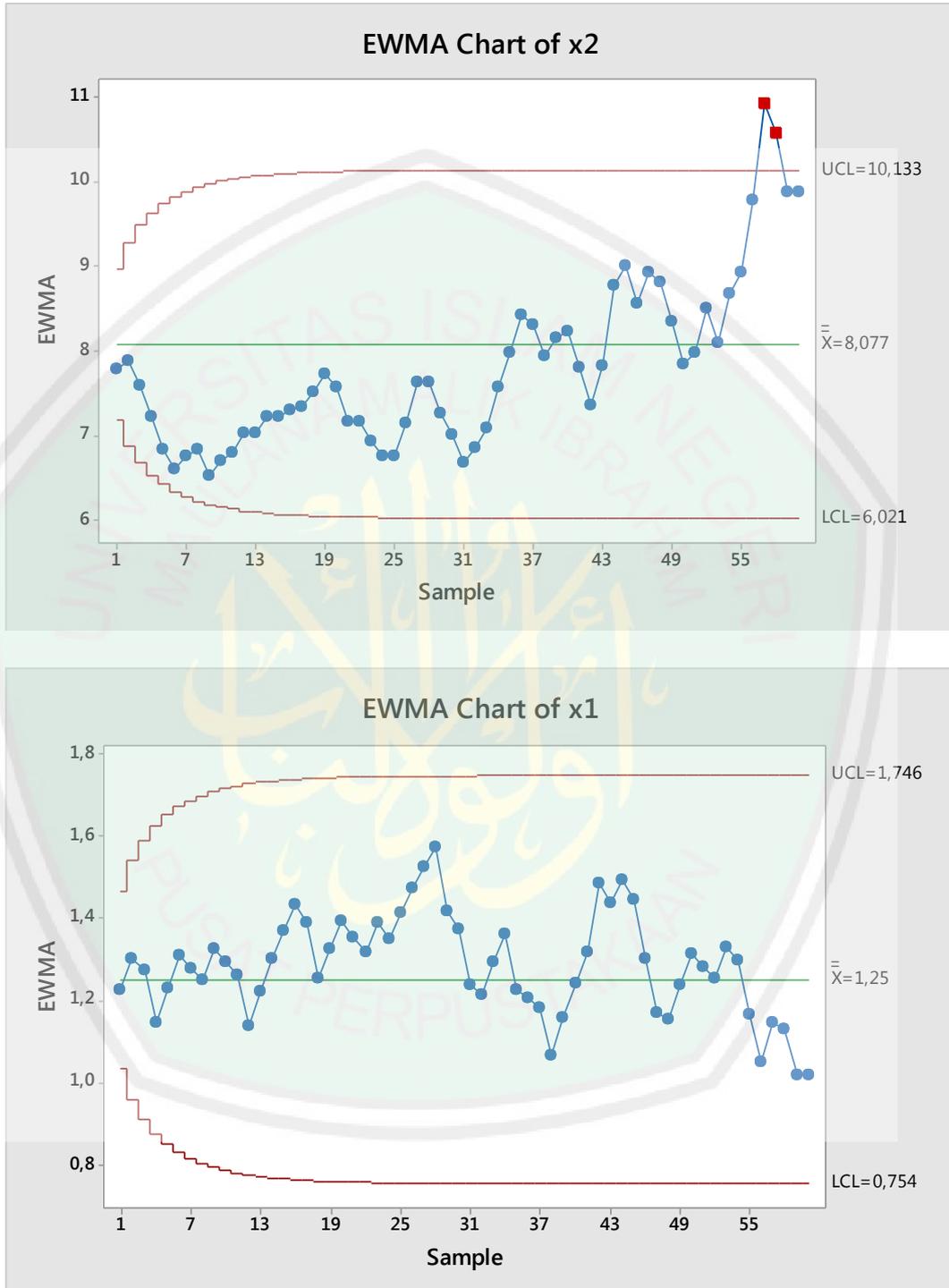
H_0 diterima, data berdistribusi normal multivariat.



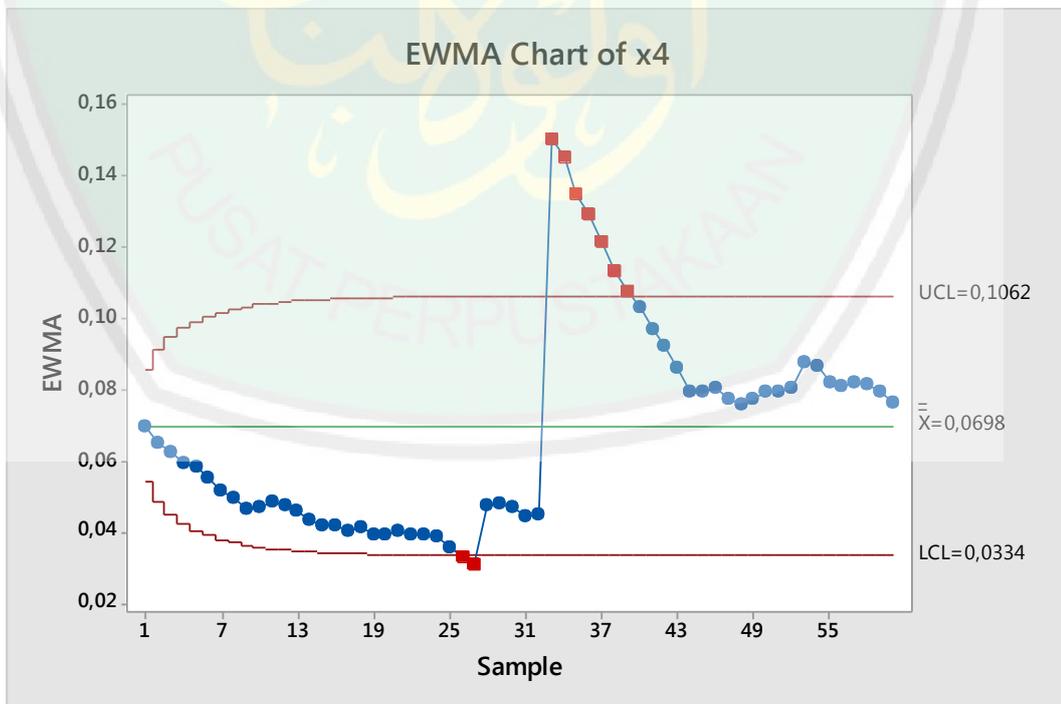
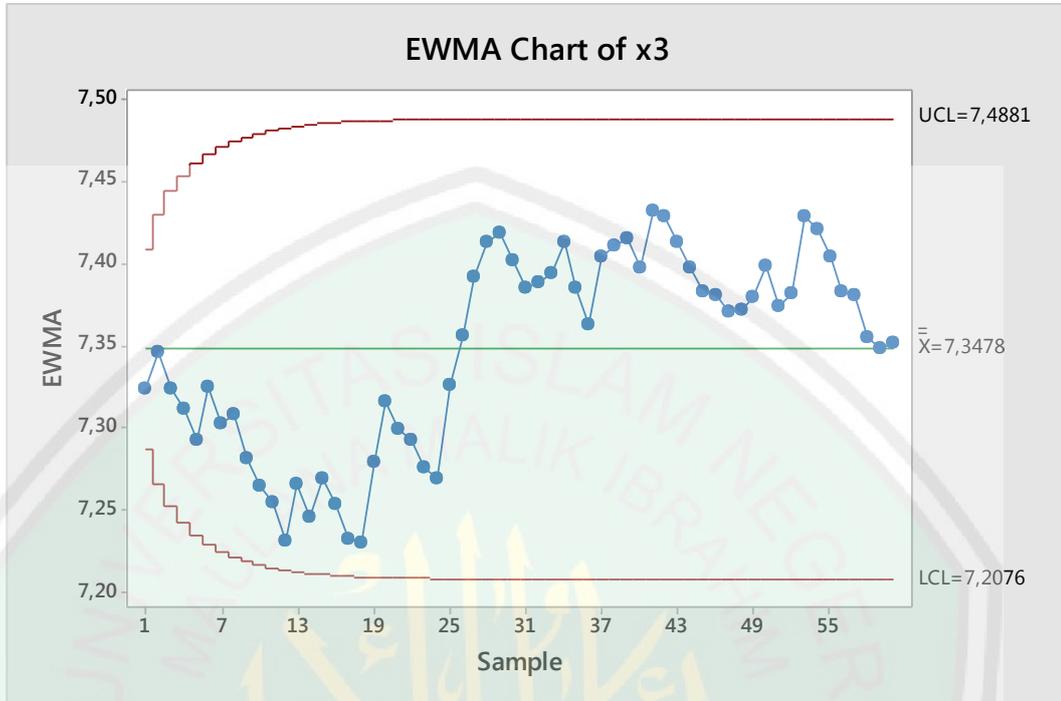
Lampiran 4. Perhitungan manual peta kendali MEWMA untuk nilai $\lambda=0,1$ dengan UCL 19,54

i	$_i T^2$	Test Result	i	$_i T^2$	Test Result	i	$_i T^2$	Test Result
1	4,11	0	21	13,67	0	41	32,38	1
2	17,99	0	22	11,58	0	42	28,53	1
3	21,50	1	23	16,60	0	43	30,68	1
4	20,85	1	24	16,04	0	44	24,02	1
5	30,06	1	25	12,07	0	45	15,59	0
6	29,93	1	26	12,09	0	46	15,08	0
7	30,34	1	27	9,68	0	47	12,33	0
8	35,95	1	28	10,77	0	48	11,50	0
9	37,77	1	29	8,63	0	49	10,78	0
10	33,56	1	30	8,68	0	50	7,68	0
11	31,66	1	31	9,69	0	51	6,10	0
12	33,01	1	32	8,24	0	52	9,02	0
13	18,00	0	33	15,35	0	53	8,54	0
14	20,84	1	34	34,97	1	54	10,80	0
15	20,09	1	35	39,33	1	55	12,10	0
16	28,28	1	36	37,90	1	56	19,19	0
17	30,46	1	37	39,20	1	57	34,86	1
18	21,40	1	38	33,56	1	58	32,35	1
19	16,43	0	39	22,66	1	59	26,19	1
20	13,67	0	40	28,68	1	60	27,01	1

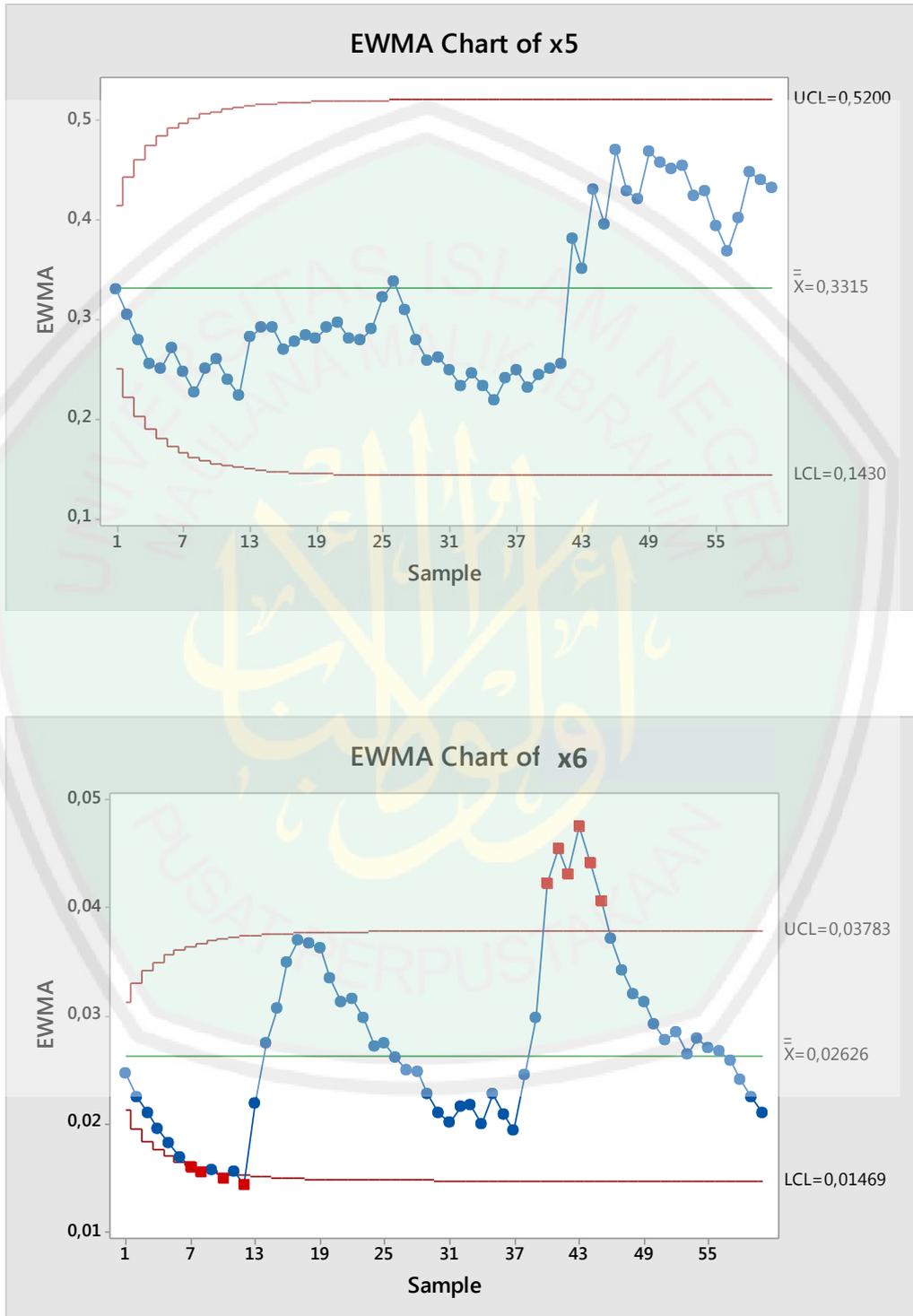
Lampiran 5. Grafik kendali EWMA untuk variabel NO_2 (x_1) dan NO_3 (x_2)



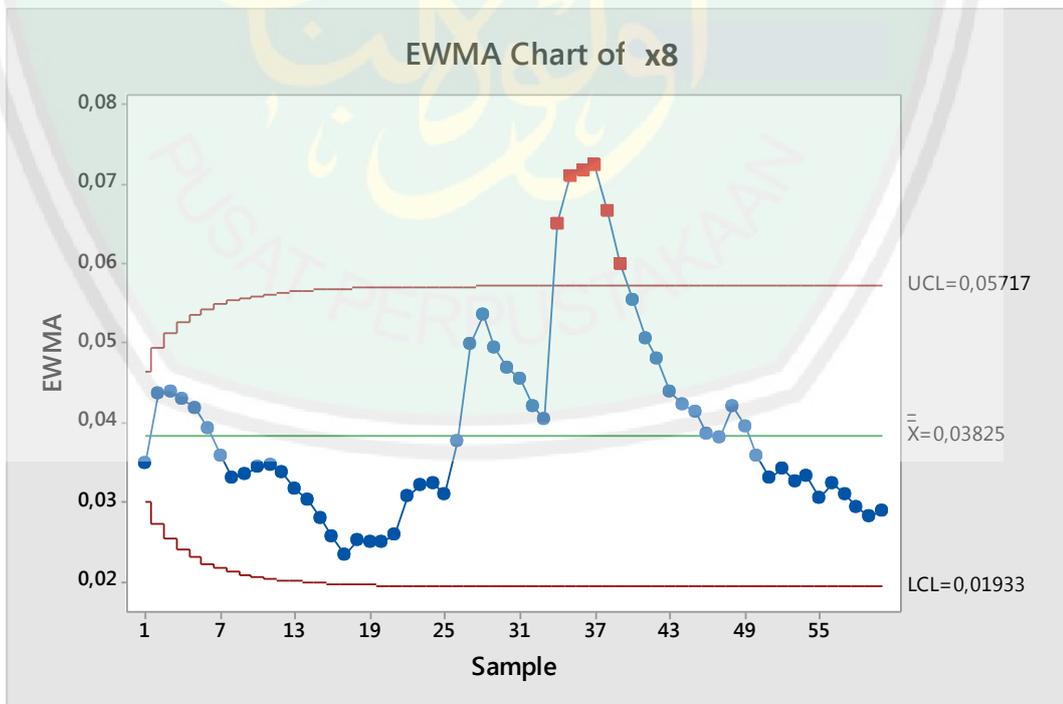
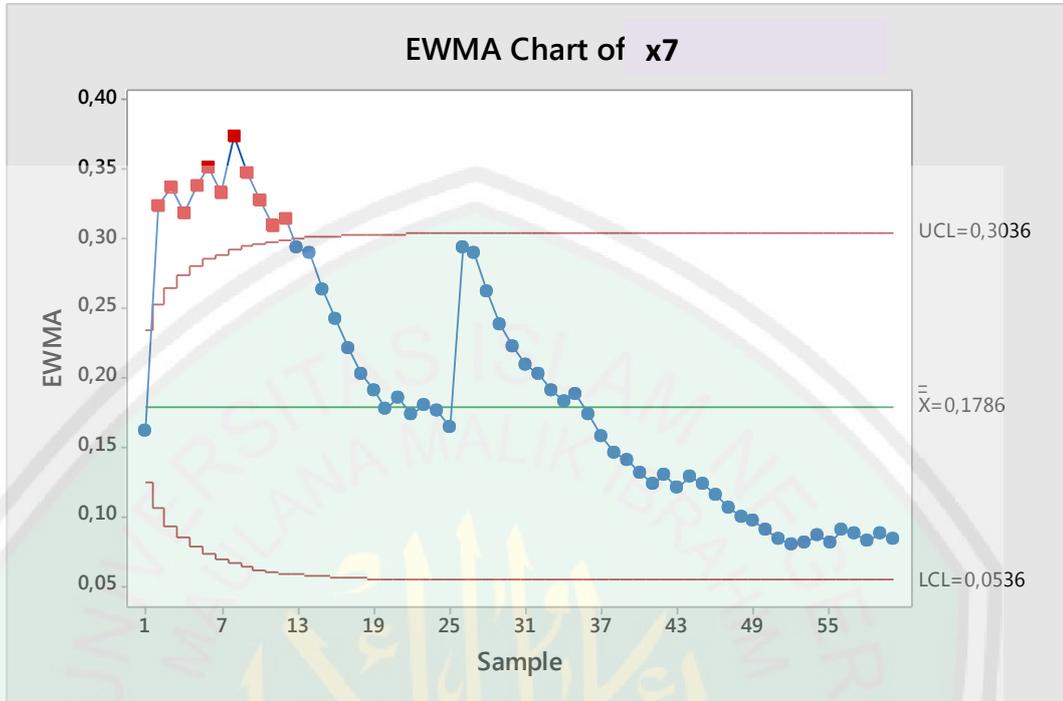
Lampiran 6. Grafik kendali EWMA untuk variabel pH (x3) dan sisa *Chlor* (x4)



Lampiran 7. Grafik kendali EWMA untuk variabel Fluorida (x5) dan Alumunium(X6)



Lampiran 17. Grafik kendali EWMA untuk variabel besi (X7) dan Mangan(X8)



RIWAYAT HIDUP



Brilliana Maharani, lahir di Jember 01 November 1997, tinggal di Desa Paleran, Kecamatan Umbulsari, Kabupaten Jember. Anak pertama dari tiga bersaudara. Putri dari pasangan bapak Akhmad Faruq dan ibu Titik Sulistiyoningsih. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri Paleran 03 dan lulus pada tahun 2009, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 03 Tanggul dan lulus pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Nurul Jadid Paiton Probolinggo dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya menempuh pendidikan perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada tahun 2015 melalui jalur SNMPTN. Penulis mengambil jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi. Penulis dapat dihubungi melalui Email: maharaniraj14@gmail.com.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang (0341)551345 Fax.(0341) 572533**

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Brilliana Maharani
NIM : 15610014
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Matematika
Judul Skripsi : Penerapan Grafik Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) pada Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air PDAM
Pembimbing I : Angga Dwi Mulyanto, M.Si
Pembimbing II : M. Nafie Jauhari, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	13 September 2019	Konsultasi Bab I, Bab II dan Bab III	1.
2.	4 Oktober 2019	Revisi Bab I, II, III dan Konsultasi Bab IV	2.
3.	8 Oktober 2019	Konsultasi Kajian Keagamaan	3.
4.	1 November 2019	Kajian Keagamaan Bab I, II	4.
5.	26 November 2019	ACC Bab I, Bab II dan Bab III	5.
6.	26 November 2019	ACC Kajian Keagamaan Bab I, II	6.
7.	24 Januari 2020	Konsultasi Bab IV	7.
8.	27 Januari 2020	Konsultasi Kajian Keagamaan Bab IV	8.
9.	31 Januari 2020	Revisi Bab IV, Konsultasi Bab V	9.
10.	3 Februari 2020	ACC Bab IV dan Bab V	10.
11.	4 Februari 2020	ACC Keseluruhan	11.
12.	4 Februari 2020	ACC Kajian Agama Keseluruhan	12.

Malang, 4 Februari 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001