TUGAS AKHIR – KS184822

PENGENDALIAN KUALITAS AIR PRODUKSI PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM*

NISFI HEMAS DIGA ASMARA
NRP 062116 4000 0126

Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si., M.Si.

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

TUGAS AKHIR – KS184822

PENGENDALIAN KUALITAS AIR PRODUKSI PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM*

NISFI HEMAS DIGA ASMARA
NRP 062116 4000 0126

Dosen Pembimbing
Wibawati, S.Si., M.Si.

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

FINAL PROJECT – KS184822

QUALITY CONTROL OF WATER PRODUCTION AT PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA USING MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM CONTROL CHART

NISFI HEMAS DIGA ASMARA
SN 062116 4000 0126

Supervisor
Wibawati, S.Si., M.Si.

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

LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN KUALITAS AIR PRODUKSI PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM*

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
Nisfi Hemas Diga Asmara
NRP. 062116 4000 0126

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:
Wibawati, S.Si., M.Si.
NIP. 19741213 199802 2 001 ( )

Mengetahui,
Kepala Departemen

Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si.
NIP. 19691212 199303 2 002

SURABAYA, 24 AGUSTUS 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGENDALIAN KUALITAS AIR PRODUKSI PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM*

Nama Mahasiswa : Nisfi Hemas Diga Asmara
NRP : 062116 4000 0126
Departemen : Statistika-FSAD-ITS
Dosen Pembimbing : Wibawati, S.Si., M.Si.

Abstrak

PDAM Surya Sembada Surabaya merupakan perusahaan milik pemerintah Kota Surabaya yang bergerak dalam bidang pengolahan air sehingga kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya harus selalu diperhatikan. Selain itu kualitas kebersihan air bersih dapat dilihat dari parameter fisika, kimia, mikrobiologi pada air. Jika terdapat perubahan karakteristik pada air maka kualitas air juga akan menurun. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai pengendalian kualitas pada air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya. Penelitian ini dilakukan menggunakan grafik kendali multivariat MEC. Grafik kendali MEC terbagi menjadi dua yaitu MEC1 dan MEC2. Variabel yang akan digunakan adalah turbidity, sisa Chlor, dan zat organik. Pada hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan grafik kendali MEC1 dan MEC2 didapatkan hasil bahwa proses produksi air produksi tidak terkendali secara statistik. Grafik kendali MEC1 yang diterapkan pada data penelitian ini lebih sensitif dari grafik MEC2 karena menghasilkan lebih banyak pengamatan yang out of control. Setelah dilakukan identifikasi, variabel zat organik adalah variabel yang berpengaruh paling besar terhadap terjadinya out of control. Jika dilihat dari kapabilitas prosesnya, proses produksi air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I tidak kapabel. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada perusahaan PDAM Surya Sembada Surabaya sebagai evaluasi proses produksi air.

Kata Kunci : Grafik Kendali, Pengendalian Kualitas, PDAM Surya Sembada Surabaya, MEC

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

QUALITY CONTROL OF WATER PRODUCTION AT PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA USING MIXED MULTIVARIATE EWMA-CUSUM CONTROL CHART

Name : **Nisfi Hemas Diga Asmara**
Student Number : **062116 4000 0126**
Department : **Statistics**
Supervisor : **Wibawati, S.Si., M.Si.**

Abstract

PDAM Surya Sembada Surabaya is a Surabaya Government company in the field of drinking water treatment. The vision of the company is to become a modern drinking water company. Therefore, the quality of water produced by PDAM Surya Sembada Surabaya must always be controled. Besides the quality of clean water can be seen from the parameters of physics, chemistry, microbiology, and also radioactivity in the water. Therefore, this research will be conducted on quality control in the water production of PDAM Surya Sembada Surabaya. This research will be carried out using a combine of multivariate control chart from MEWMA-MCUSUM called MEC control chart. The MEC control chart is divided into two, they are MEC1 and MEC2. Variabels that used are turbidity, residual chlorine, and organic substances. In the result of this research, monitoring process using the control chart MEC1 and MEC2 show that the water production process is not statistically controlled. The MEC1 control chart that more sensitive than the MEC2 chart because it produces more out of control observations. After the identification process, the organic subtances variable is the variable that has the biggest impact on the occurrence of out of control. In the capability analysis, the process of water production in PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I is said to be not capable. This research is expected to provide benefits to the company of PDAM Surya Sembada Surabaya as an evaluation of the water production process.

Keywords : Control Chart, Quality Control, PDAM Surya Sembada Surabaya, MEC

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkanNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **"PENGENDALIAN KUALITAS AIR PRODUKSI PDAM SURYA SEMBADA SURABAYA MENGGUNAKAN GRAFIK KENDALI *MIXED MULTI-VARIATE EWMA-CUSUM*"**.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari partisipasi, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Indah Pujiastutik dan Bapak Pariyanto, serta adik Dwike Megah Purnama Lenti, dan keluarga besar penulis yang selalu memberikan doa, motivasi, dan kasih sayang sehingga penulis semangat menjalani proses perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Dra. Kartika Fithriasari, M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika FSAD dan Dr. Santi Wulan, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Departemen Bidang Akademik yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Wibawati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan dengan sabar kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Drs. Agus Suharsono, MS. dan Bapak Dr. Achmad Choiruddin S.Si., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu, kritik, dan saran yang membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dr. Dra. Ismaini Zain, M.Si. selaku dosen wali dan seluruh Bapak Ibu dosen Statistika atas segala bimbingan dan ilmu yang telah diberikan, serta seluruh staf dan karyawan Departemen Statistika ITS atas pelayanannya selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Bapak Hendro, Ibu Palupi, dan Ibu Alfa yang bersedia membantu dan mengizinkan penulis untuk melakukan Tugas Akhir

dan mengambil data kualitas air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I.

7. Rivi Monica Pratiwi, Yani Trimardiani, Marita Qoriatunnadyah yang selalu membantu penulis dalam bertukar pikiran, menemani selama bimbingan, memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.
8. Teman-teman Statistika ITS angkatan 2016, TR16GER, yang selalu memberikan semangat kepada penulis dan kebersamaan untuk menjadi keluarga selama masa perkuliahan.
9. Putri Berliana, Tenry Nesya, dan Naufal Ihza Revandhika sebagai sahabat tercinta sekaligus teman-teman seperjuangan yang menemani dan menghibur penulis di saat suka dan duka selama masa perkuliahan, memberikan pelajaran dan warna kehidupan bagi penulis.
10. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan secara langsung dan tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyaknya kekurangan dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini, besar harapan bagi Penulis untuk dapat menerima saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat baik bagi penulis, pembaca, dan semua pihak.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
DAFTAR LAMPIRAN xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan 4
1.4 Manfaat 4
1.5 Batasan Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Uji Distribusi Normal Multivariat 7
2.2 Uji *Bartlett* 8
2.3 Pengendalian Kualitas 8
2.4 Grafik Kendali *Mixed Multivariate Exponentially Weighted Moving Average – Cumulative Sum* (*MEC*) 9
2.4.1 *MEC1* 11
2.4.2 *MEC2* 12
2.5 Kapabilitas Proses 12
2.6 PDAM Surya Sembada Surabaya 14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Sumber Data 17
3.2 Variabel Penelitian 17
3.3 Struktur Data 18
3.4 Langkah Analisis 18
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 21

4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Air Produksi 21
4.2 Pemeriksaan Asumsi Normal dan Dependensi 23
4.3 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC*.....24
4.3.1 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC1* 24
4.3.2 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC2* 31
4.4 Perbandingan *MEC1* dan *MEC2* 35
4.5 Identifikasi *Out of Control* 36
4.5.1 Identifikasi *Out of Control* pada Grafik Kendali *MEC1*.....36
4.5.2 Identifikasi *Out of Control pada* Grafik Kendali *MEC2*.....41
4.6 Analisis Kapabilitas Proses 46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....49
5.1 Kesimpulan 49
5.2 Saran.....49
DAFTAR PUSTAKA 51
LAMPIRAN 53
BIODATA PENULIS……69

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Pengolahan Air PDAM Surya Sembada Surabaya.....16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 19
Gambar 4.1 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,1 27
Gambar 4.2 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,2 28
Gambar 4.3 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,3 28
Gambar 4.4 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan λ = 0,1 29
Gambar 4.5 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan λ = 0,2 29
Gambar 4.6 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan λ = 0,3 30
Gambar 4.7 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan λ = 0,1 32
Gambar 4.8 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan λ = 0,2 32
Gambar 4.9 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan λ = 0,3 33
Gambar 4.10 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan λ = 0,1.....34
Gambar 4.11 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan λ = 0,2.....34
Gambar 4.12 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan λ = 0,3.....35
Gambar 4.13 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *TurVbidity* dan Zat Organik pada Musim Kemarau.....37
Gambar 4.14 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau.....37

Gambar 4.15 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau 38
Gambar 4.16 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Penghujan.....39
Gambar 4.17 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1 Variabel Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan 39
Gambar 4.18 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1 Variabel* Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan 40
Gambar 4.19 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Kemarau 41
Gambar 4.20 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau 42
Gambar 4.21 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau 43
Gambar 4.22 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Penghujan.....43
Gambar 4.23 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2 Variabel Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan 44
Gambar 4.24 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2 Variabel* Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan.....45

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Variabel Penelitian 18
Tabel 3.2 Struktur Data..... 18
Tabel 4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Air Produksi..... 22
Tabel 4.2 Perbandingan *MEC1* dan *MEC2*..... 35
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* 40
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* 45
Tabel 4.5 Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat P_p dan P_{pk} 46
Tabel 4.6 Perhitungan Analisis Kapabilitas Multivariat MP_p dan MP_{pk} 47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Data Karakteristik Kualitas Air Produksi 53
Lampiran 2. Hasil *Output* Statistika Deskriptif Menggunakan *Software* Minitab 54
Lampiran 3. *Syntax* dan Hasil Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat Menggunakan *Software* R 54
Lampiran 4. Hasil Pengujian Asumsi Dependensi *KMO and Bartlett's Test* Menggunakan *Software* SPSS 55
Lampiran 5. Kapabilitas Proses 55
Lampiran 6. Hasil Perhitungan Grafik Kendali *MEC1* 59
Lampiran 7. Hasil Perhitungan Grafik Kendali *MEC2* 60
Lampiran 8. Hasil *Output* Identifikasi *OOC* Menggunakan Grafik Kendali *MEC1*.....61
Lampiran 9. Hasil *Output* Identifikasi *OOC* Menggunakan Grafik Kendali *MEC2*.....62
Lampiran 10. *UCL* Grafik Kendali *MEC1* 63
Lampiran 11. *UCL* Grafik Kendali *MEC2* 63
Lampiran 12. Surat Izin Penelitian.....64
Lampiran 13. Surat Keterangan Publikasi.....65
Lampiran 14. Dokumentasi di IPAM Ngagel I 66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan bahan alam yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dalam kehidupan manusia, hewan dan tanaman dan juga merupakan sumber energi serta berbagai keperluan lainnya. Air memiliki banyak manfaat pada kehidupan manusia contohnya adalah kegunaan air untuk dikonsumsi, pertanian, dan kegunaan lainnya dalam kehidupan sehari-hari. Air tawar merupakan jenis air yang paling banyak dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya, namun hanya 2,5% yang terdistribusi menjadi air sungai, air danau, dan air tanah, dan sumber air lainnya (Suseno & Widyastuti, 2017). Oleh karena itu persediaan air bersih sangat diperlukan. Indikator air telah tercemar adalah terdapat perubahan yang dapat diamati seperti perubahan warna air, suhu, pH, bau, dan rasa (Indarsih, Suprayogi, & Widyastuti, 2011). Selain itu, indikator air bersih lainnya adalah air bebas dari zat *pathogen* organik dan anorganik namun mengandung zat-zat kimia yang cukup diperlukan oleh tubuh manusia (Sumantri & Parwiyanto, 2017). Kebutuhan akan air bersih akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di suatu wilayah sehingga diperlukan instalasi untuk mengolah air bersih yang memenuhi standar. Kota Surabaya pada tahun 2019 memiliki jumlah penduduk sebanyak 3.095.026 jiwa penduduk sehingga diperlukan air bersih yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat Kota Surabaya.

PDAM Surya Sembada Surabaya merupakan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Pemerintah Kota Surabaya yang bergerak dalam bidang pengolahan air minum. Visi dari PDAM Surya Sembada Surabaya adalah “Menjadi Perusahaan Air Minum Modern” dengan misi yang dilakukan antara lain yaitu memastikan pengelolaan keuangan yang transparan untuk kesejahteraan masyarakat, membangun masyarakat yang bijak dalam penggunaan air, menyediakan air minum yang efisien dan berkelanjutan, serta membangun lingkungan kerja yang memprioritaskan integritas dan prestasi (PDAM Surya Sembada Surabaya, 2012). Pada tahun 2016

PDAM Surya Sembada Surabaya memiliki pelanggan yang menggunakan pelayanan PDAM Surya Sembada Surabaya sebanyak 547.819 meliputi perumahan, pemerintah, perdagangan, industri, dan pelabuhan yang bukan berasal dari Kota Surabaya saja melainkan juga dari kabupaten lain seperti Kabupaten Pasuruan, Kabupaten Sidoarjo, dan Kabupaten Gresik. Selain memberikan pelayanan air minum PDAM Surya Sembada Surabaya juga mendukung program pemerintah antara lain untuk Perumnas, Program Perbaikan Kampung (KIP), kran umum bantuan UNICEF, dan kran air siap minum (KASP). PDAM Surya Sembada Surabaya memiliki dua unit instalasi pengolahan air minum (IPAM) yakni IPAM Ngagel dan IPAM Karangpilang. IPAM Karangpilang dan IPAM Ngangel memiliki masing-masing tiga unit produksi. IPAM Ngagel berada di Jalan Penjernihan No. 1 Surabaya, sedangkan IPAM Karangpilang berada di Jalan Mastrip No. 56 Karangpilang Surabaya.

Kualitas air minum harus sangat diperhatikan agar selalu aman dan sehat saat dikonsumsi oleh masyarakat. Peraturan Menteri Kesehatan RI No.416/MENKES/PER-/IX/1990 menyatakan bahwa air bersih dapat dilihat dari parameter fisika, kimia, mikrobiologi, serta radioaktivitas yang terdapat pada air. Kualitas air minum dapat dikendalikan dengan menggunakan analisis statistika yakni menggunakan pengendalian kualitas statistik atau *statistical process control* (SPC). Pengendalian kualitas statistik merupakan alat statistika yang mampu mengontrol produk pada proses produksi, salah satunya dapat menggunakan grafik kendali. Grafik kendali merupakan alat ukur statistika secara grafis yang dapat memonitor sebuah proses produksi sudah berada dalam batas kendali atau tidak (Heizer, Render, & Munson, 2017). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan *monitoring* kualitas air minum produksi PDAM Surya Sembada Surabaya di IPAM Ngagel I. Pengendalian kualitas air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya melibatkan karakteristik penentu kualitas air antara lain adalah *turbidity* (kekeruhan air), zat organik, dan sisa *Chlor*. Ketiga karakteristik kualitas tersebut memiliki hubungan antara satu sama lain. Semakin tinggi *turbidity* maka akan berpengaruh pada penambahan *Chlor* yang juga akan semakin banyak, begitupun ketika kadar zat organik semakin tinggi maka sisa *Chlor* juga akan semakin rendah.

Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan grafik kendali multivariat.

Penelitian yang berkaitan dengan pengendalian kualitas air PDAM telah banyak dilakukan oleh beberapa penulis diantaranya adalah Afandy (2019) dan Wulandari (2019). Penelitian tentang kualitas air di PDAM Surya Sembada oleh Afandy (2019) menggunakan grafik kendali *Max Multivariate Cumulative Sum* (*Max-MCUSUM*). Berdasarkan penelitian tersebut disebutkan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I PDAM Surya Sembada Surabaya belum terkendali secara statistik. Pada penelitiannya variabel *turbidity* merupakan variabel yang berkontribusi besar yang menyebabkan adanya pengamatan *out of control*. Selain itu, penelitian oleh Wulandari (2019) menggunakan grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (*MEWMV*) dan grafik kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (*MEWMA*). Hasil yang didapatkan adalah *mean* proses produksi air tidak terkendali secara statistik.

Sementara itu, Ajadi dan Riaz (2016) mengusulkan grafik kendali yang menggabungkan *Multivariate EWMA* dan *Multivariate CUSUM* yang disebut *MEC.* Grafik kendali *MEC* terdiri dari *MEC1* dan *MEC2*. *MEC1* dibentuk dari gabungan antara *MEWMA* dengan *MCUSUM,* sedangkan *MEC2* merupakan gabungan dari *MC1* dengan *MEWMA.* Kelebihan dari grafik kendali *MEC* ini adalah dapat mendeteksi pergeseran *mean* yang kecil dengan bebrapa kondisi yaitu *MEC1* akan lebih baik dari *MCUSUM* untuk semua nilai pembobot kecuali 0,1 dan lebih baik dari *MEWMA* untuk nilai pembobot 0,1;0,25;0,5 dan 0,75 begitupun juga dengan *MEC2*. Namun, *MEC2* akan lebih baik dari *MCUSUM* saat nilai pembobot yang digunakan adalah 0,1 dan di atas 0,25 (Abbas, Riaz, & Does, 2012).

Berdasarkan uraian dan penelitian sebelumnya maka dilakukan *monitoring* kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya menggunakan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* dan diharapkan dapat memberi manfaat kepada PDAM Surya Sembada Surabaya agar bisa memberikan *treatment* pada produksi air sehingga akan mengurangi kerugian yang mungkin terjadi. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah *turbidity* atau kekeruhan air.

Variabel *turbidity* diteliti karena terdapat perubahan warna pada air maka hal tersebut bisa terlihat jelas sehingga bisa diteliti lebih lanjut untuk mengetahui telah terjadi pergeseran proses produksi atau tidak. Selain itu juga digunakan variabel sisa *Chlor* dan zat organik merupakan parameter utama dalam penentuan kualitas air di PDAM Surya Sembada Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana pengendalian kualitas statistik air yang diproduksi PDAM Surya Sembada Surabaya menggunakan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* beserta dengan analisis kapabilitas proses produksi airnya. Berdasarkan permasalahan tersebut proses produksi air PDAM Surya Sembada Surabaya dibandingkan menggunakan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengendalian kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya menggunakan grafik kendali *MEC1*.
2. Mengetahui pengendalian kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya menggunakan grafik kendali *MEC2*.
3. Membandingkan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* pada kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya.
4. Mengetahui analisis kapabilitas proses produksi air PDAM Surya Sembada Surabaya.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi proses produksi air bagi PT PDAM Surya Sembada Surabaya sebagai saran dan rekomendasi kepada perusahaan berupa peringatan dini proses produksi air dalam meningkatkan kualitas air produksi. Selain itu, manfaat bagi peneliti adalah dapat menerapkan ilmu statistika dalam perm ncccmcc.asalahan di dunia nyata.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah data yang diambil PDAM Surya Sembada Surabaya di IPAM Ngagel I pada periode musim kemarau yaitu 1 April 2019 – 30 November 2019 dan musim penghujan yaitu pada 1 Desember 2019 hingga 31 Maret 2020. Karakteristik kualitas yang diteliti adalah *turbidity*, sisa *Chlor*, serta zat organik sebagai faktor utama penentu kualitas air PDAM Surya Sembada Surabaya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan tentang beberapa teori statistika dan nonstatistika yang mendasari analisis pada penelitian ini antara lain adalah uji distribusi normal multivariat, uji *Bartlett*, pengendalian kualitas, grafik kendali *MEC*, kapabilitas proses, dan PDAM Surya Sembada Surabaya.

2.1 Uji Distribusi Normal Multivariat

Sebelum melakukan pengendalian kualitas diperlukan pengujian distribusi normal pada data yang digunakan untuk menentukan data pengamatan mengikuti persebaran distribusi normal atau tidak. Suatu pengamatan $x_1, x_2, ..., x_p$ dikatakan memiliki distribusi normal multivariat ketika memiliki fungsi densitas seperti pada persamaan (2.1). (Johnson & Wichern, 2007).

$$f(x) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\boldsymbol{\Sigma}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})} \quad . \qquad (2.1)$$

Uji distribusi normal yang digunakan adalah pengujian *Shapiro Wilk* dengan hipotesis dan statistik uji pada persamaan (2.2).

Hipotesis :

H_0 : data berdistribusi normal multivariat.

H_1 : data tidak berdistribusi normal multivariat.

Statistik uji :

$$W^* = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} W_{z_i} \quad . \qquad (2.2)$$

W^* merupakan statistik uji dari *Shapiro Wilk*, sedangkan W_{Zi} adalah statistik dari *Shapiro Wilk* pada observasi individu ke-*i* yang didapatkan dari rumus berikut.

$$W_{z_i} = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} a_i x_{(i)}\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}.$$

Jika W^* mendekati nilai 1 sehingga data dinyatakan mengikuti persebaran distribusi normal multivariat, atau nilai $W^* > C_{\alpha;n;p}$ maka keputusan yang diambil adalah gagal tolak H_0. Selain itu pengujian normal multivariat juga bisa dideteksi menggunakan nilai *p-value* dimana jika *p-value* > α maka gagal tolak H_0 yang artinya data mengikuti persebaran distribusi normal multivariat.

2.2 Uji *Bartlett*

Uji *Bartlett* dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan varians antar variabel multivariat. Jika $X_1, X_2, \ldots, X_3$ memiliki sifat saling bebas atau tidak saling berhubungan, maka matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas. Uji *Bartlett* digunakan ketika data mengikuti persebaran distribusi normal dan didefinisikan pada hipotesis dan statistik uji pada persamaan (2.3).

Hipotesis :

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

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

Statistik uji :

$$\chi^2 = -\left[n - 1 - \frac{2p+5}{6}\right]\ln\left|\mathbf{R}\right|, \qquad (2.3)$$

n merupakan jumlah observasi, *p* adalah jumlah karakteristik kualitas, dan **R** adalah matriks korelasi dari setiap variabel. H_0 ditolak jika $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{\left(\alpha;\frac{1}{2}p(p-1)\right)}$ dan diartikan bahwa terdapat korelasi antar variabel (Morrison, 2005).

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas atau *statistical process control* (SPC) merupakan kegiatan penyelesaian sebuah masalah untuk mencapai

proses yang stabil serta mampu mengurangi variabilitas dalam proses (Montgomery, 2013). Selain itu, pengendalian kualitas juga digunakan untuk menggambarkan variabilitas yang dapat dikendalikan maupun tidak dapat dikendalikan. Terdapat beberapa alat untuk mengendalikan kualitas salah satunya yaitu grafik kendali (Heizer, Render, & Munson, 2017). *Monitoring* kualitas yang melibatkan dua atau lebih karakteristik yang saling berhubungan menggunakan grafik kendali multivariat. Beberapa tipe dari grafik kendali multivariat adalah *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (*MEWMA*) dan *Multivariate Cumulative Sum* (*MCUSUM*). Pada penelitian ini dijelaskan mengenai gabungan dari grafik kendali *MEWMA* dan *MCUSUM*.

2.4 Grafik Kendali *Mixed Multivariate Exponentially Weighted Moving Average – Cumulative Sum* (*MEC*)

Grafik kendali *Mixed Multivariate EWMA-CUSUM* atau disebut dengan grafik kendali *MEC* merupakan gabungan dari grafik kendali *MEWMA* dan *MCUSUM*. Grafik kendali *MEC* dibagi menjadi dua yaitu *Mixed Multivariate EWMA-CUSUM Control Chart* 1 (*MEC1*) dan *Mixed Multivariate EWMA-CUSUM Control Chart* 2 (*MEC2*) (Ajadi & Riaz, 2016).

Grafik kendali *MEWMA* dikenalkan oleh Lowry (1992) yang digunakan untuk memonitor pergeseran *mean* proses yang kecil. Kelebihan dari grafik kendali *MEWMA* adalah peka terhadap pergeseran yang kecil dan bersifat *robust* terhadap distribusi tidak normal. Persamaan pada Grafik kendali *MEWMA* dapat ditulis pada persamaan (2.4) dengan matriks varians kovarians pada persamaan (2.5).

$$\mathbf{Z_i} = \lambda \mathbf{X_i} + (1-\lambda)\mathbf{Z_{i-1}} \quad , \tag{2.4}$$

dengan,

$$\mathbf{\Sigma}_{Z_i} = \frac{\lambda}{2-\lambda}\mathbf{\Sigma} \, . \tag{2.5}$$

Keterangan :

λ : nilai pembobot ($0 < \lambda < 1$).

$\mathbf{\Sigma}$: matriks varians kovarians.

Berdasarkan Z_i diperoleh rumus titik pengamatan seperti pada persamaan (2.6).

$$T_i = \mathbf{Z}_i^T \mathbf{\Sigma}_Z^{-1} \mathbf{Z}_i, \tag{2.6}$$

dan saat $i = 0$ maka $\mathbf{Z}_0 = \mathbf{0}$ .Jika $T^2 > h_1$ maka proses dikatakan tidak terkendali (*out of control*) dimana h_1 merupakan batas kendali grafik *MEWMA* yang didapatkan dari simulasi *ARL* dan berkaitan dengan *p* (Ajadi & Riaz, 2016).

Sementara itu pada tahun Crosier (1988) mengusulkan grafik kendali *Mixed Multivariate CUSUM* (*MCUSUM*) dengan persamaan (2.7).

$$C_i = \left\{ \left(\mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i \right)^T \mathbf{\Sigma}^{-1} \left(\mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i \right) \right\}^{\frac{1}{2}}, \tag{2.7}$$

dengan,

$$\mathbf{S}_i = \begin{cases} \mathbf{S}_{i-1} + \mathbf{X}_i \left(1 - \dfrac{k}{C_i} \right), \text{jika } C_i > k \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad , \text{jika } C_i \leq k \end{cases},$$

dan

$$S_0 = 0.$$

k merupakan nilai referensi yang lebih dari 0, namun nilai *k* yang digunakan adalah *k* = 0,5. Selanjutnya merupakan statistik pada persamaan (2.8) yang digunakan untuk memonitor.

$$U_i = \left\{ \mathbf{S}_i^T \mathbf{\Sigma}^{-1} \mathbf{S}_i \right\}^{\frac{1}{2}}. \tag{2.8}$$

Proses dinyatakan tidak terkendali jika $U_i > h_2$ dimana h_2 merupakan batas kendali untuk grafik kendali *MCUSUM*.

Selanjutnya, Pignatiello dan Runger (1990) mengusulkan grafik kendali *Multivariate CUSUM* 1 (*MC1*) yang didasarkan pada bentuk kuadrat dari vektor *mean* pada persamaan (2.9).

$$\mathbf{S}_i = \sum_{j=i-n_i+1}^{i} \left(\overline{\mathbf{X}}_i - \boldsymbol{\mu}_0 \right), \tag{2.9}$$

sehingga *MC1* dapat ditulis pada persamaan (2.10).

$$V_i = \max\left\{0, \left(\mathbf{S}_i^T \mathbf{\Sigma}^{-1} \mathbf{S}_i\right)^{\frac{1}{2}} - kn_i\right\}, \qquad (2.10)$$

dengan,

$$n_i = \begin{cases} n_{i-1} + 1, & \text{jika } V_{i-1} > 0 \\ 1 & \text{, untuk } V_{i-1} \text{ lainnya.} \end{cases}$$

Proses dikatakan *out of control* jika niai $V_i > h_3$ dimana h_3 adalah batas kendali dari grafik kendali *MC1*.

2.4.1 *MEC1*

Misalkan $X_1, X_2, X_3, ..., X_p$ adalah sampel dengan *p* karakteristik kualitas yang dimonitor. Pada grafik kendali *MEC1* dikembangkan melalui transformasi ke dalam statistik *MEWMA* pada persamaan (2.4) kemudian diintegrasikan dengan *MCUSUM* dan dapat dinyatakan pada persamaan (2.11).

$$\mathbf{MEC}_i = \max\left(0, \mathbf{MEC}_{i-1} + \left(\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right) - \mathbf{k}^*\right). \qquad (2.11)$$

Pemberian nilai $\mathbf{k}^*$ bertujuan untuk memperkecil nilai $\mathbf{MEC}_{i-1} + \mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0$ mendekati 0. $\mathbf{k}^*$ dapat didefinisikan pada persamaan (2.12).

$$\mathbf{k}^* = k \frac{\mathbf{MEC}_{i-1} + \mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0}{\left[\left(\mathbf{MEC}_{i-1} + \mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right)^T \mathbf{\Sigma}_{Z_i}^{-1} \left(\mathbf{MEC}_{i-1} + \mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right)\right]^{\frac{1}{2}}}; \qquad (2.12)$$

$$k \in R^+, k > 0 \,.$$

Jika $\mathbf{k}^* \geq \mathbf{MEC}_{i-1} + \left(\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right)$ maka $\mathbf{MEC}_i$ akan memiliki nilai 0 atau negatif. Selanjutnya pada persamaan (2.13) adalah persamaan untuk mencari nilai $\mathbf{MEC}_i$.

$$\mathbf{MEC}_i = \mathbf{MEC}_{i-1} + \left(\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right) - \mathbf{k}^*. \qquad (2.13)$$

Berdasarkan $\mathbf{MEC}_i$ pada persamaan (2.13) maka bisa dihitung statistik $MEC1_i$ menggunakan persamaan (2.14).

$$MEC1_i = \mathbf{MEC}_i^T \boldsymbol{\Sigma}_Z^{-1} \mathbf{MEC}_i \ . \qquad (2.14)$$

Jika $MEC1_i > h_4$ dengan h_4 adalah batas kendali *MEC1*, maka proses dikatakan tidak terkendali secara statistik.

2.4.2 *MEC2*

Tipe kedua dari diagram kendali *MEC* dinamakan *MEC2*. Grafik kendali *MEC2* merupakan gabungan dari grafik kendali *MEWMA* dengan *MC1*. Pada pendekatan ini statistik *MEWMA* pada persamaan (2.4) ditransformasi ke dalam vektor *cumulative sums* dari *MC1*. Selanjutnya vektor *cumulative sums* didefinisikan pada persamaan (2.15).

$$\mathbf{S}_i = \sum_{j=i-n_i+1}^{i} \left(\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_0\right). \qquad (2.15)$$

Sehingga statistik $MEC2_i$ berdasarkan $\mathbf{S}_i$ dapat didefinisikan pada persamaan (2.16).

$$MEC2_i = \max\left\{0, \left(\mathbf{S}_i^T \boldsymbol{\Sigma}_{Z_i}^{-1} \mathbf{S}_i\right)^{\frac{1}{2}} - k_1 n_i\right\}, \qquad (2.16)$$

dengan

$$k_1 = k\left(\left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_0\right)^T \boldsymbol{\Sigma}_{Z_i}^{-1} \left(\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_0\right)\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (2.17)$$

dan

$$n_i = \begin{cases} n_{i-1} + 1, & \text{jika } MEC2_{i-1} > 0 \\ 1 & \text{, untuk } MEC2_{i-1} \text{ lainnya} \end{cases}.$$

Proses dikatakan tidak terkendali jika $MEC2_i > h_5$ dengan h_5 merupakan batas kendali dari grafik kendali *MEC2*. Pada grafik kendali *MEC* direkomendasikan menggunakan $ARL_0 = 200$ (Ajadi & Riaz, 2016).

2.5 Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas dilakukan untuk menaksir kemampuan suatu proses. Diperlukan indeks kapabilitas yang dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu proses. Suatu proses produksi dikatakan mampu atau kapabel apabila memiliki indeks kapabilitas

lebih dari 1,33. Indeks kapabilitas yang disarankan untuk proses dalam keadaan in control adalah C_p dan C_{pk}, sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} (Montgomery, 2013). Pada perhitungan C_p diperlukan nilai *upper control limit* (*UCL*) dan *lower control limit* (*LCL*) dan juga standar deviasi sampel (σ) yang didefinisikan pada persamaan (2.18). Namun, dalam pengaplikasiannya standar deviasi proses hampir tidak diketahui dan harus diestimasi sehingga diperoleh persamaan (2.19).

$$C_p = \frac{UCL - LCL}{6\sigma}. \tag{2.18}$$

$$\widehat{C}_p = \frac{UCL - LCL}{6\widehat{\sigma}}. \tag{2.19}$$

C_{pk} merupakan perbaikan dari C_p yang menunjukkan presisi dan akurasi proses. C_{pk} dapat diperoleh menggunakan persamaan (2.20).

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}), \tag{2.20}$$

dengan

$$C_{pu} = \frac{UCL - \mu}{3\sigma},\ C_{pl} = \frac{\mu - LCL}{3\sigma}. \tag{2.21}$$

Jika $C_p = C_{pk}$, maka proses terpusat di *mean* spesifikasi dan proses dikatakan tidak terpusat pada *mean* spesifikasi jika $C_p < C_{pk}$. Terdapat juga indeks P_p yang digunakan pada saat proses tidak terkendali secara statistik. P_p dapat dinyatakan pada rumus pada persamaan (2.22) dan P_{pk} pada persamaan (2.23).

$$\widehat{P}_p = \frac{UCL - LCL}{6s}, \tag{2.22}$$

dan

$$P_{pk} = \min\left(\frac{UCL-\mu}{3s}, \frac{\mu - LCL}{3s}\right). \qquad (2.23)$$

Pada data mutivariat indeks kapabilitas yang digunakan adalah MP_p dan MP_{pk} yang dapat dihitung dengan rumus pada persamaan (2.24) dan (2.25).

$$MP_p = \sum_{k=1}^{p} W_k P_p\left(X_k\right), \qquad (2.24)$$

dan

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^{p} W_k P_{pk}\left(X_k\right). \qquad (2.25)$$

W_k merupakan nilai pembobot disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan. Jika perusahaan tidak memberikan bobot maka bobot dianggap sama pada setiap karakteristik kualitas.

2.6 PDAM Surya Sembada Surabaya

PDAM Surya Sembada Surabaya merupakan perusahaan milik Pemerintah Kota Surabaya yang bergerak dalam bidang pengolahan air baku menjadi air layak dikonsumsi. PDAM Surya Sembada Surabaya memiliki 6 instalasi pengolahan air minum (IPAM) antara lain adalah IPAM Ngagel I, IPAM Ngagel II, IPAM Ngagel III, IPAM Karangpilang I, IPAM Karangpilang II, dan IPAM Karangpilang III. Pada proses pengolahan air minum terdapat beberapa yang harus dilakukan sebagai berikut.

1. Aerasi

   Aerasi merupakan proses yang penting dalam pengolahan air. Pada tahap ini dilakukan penambahan gas oksigen ke dalam air sehingga akan membantu proses biologis saat proses pengolahan air. Selain itu penambahan gas oksigen akan menurunkan kandungan mineral berlebih pada air.

2. Prasedimentasi

   Pada proses presedimentasi dilakukan pengendapan partikel kasar (*discrete particle*) sebelum dilanjutkan ke proses selanjutnya (Bhaskoro & Ramadhan, 2018). Contoh partikel kasar yang dimaksud adalah partikel yang memiliki bentuk, berat, dan ukuran yang tetap saat mengendap.

3. Koagulasi-Flokulasi

   Koagulasi merupakan proses pengadukan hidrolis secara cepat dilakukan dengan cara menyemprotkan (*spray*) cairan koagulan seperti $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ yang sering digunakan sebagai koagulan untuk pengolahan air minum dengan memanfaatkan pintu air di dalam bak (Setiawan, 2018). Penambahan cairan koagulan disiapkan untuk proses selanjutnya yaitu Flokulasi. Flokulasi adalah proses pengadukan lambat setelah proses pengadukan cepat (koagulasi) untuk membentuk gumpalan yang lebih besar yang mudah disaring dari poses sebelumnya.

4. Filtrasi

   Filtrasi merupakan proses penyaringan kotoran seperti partikel yang sangat halus. Selain itu proses filtrasi juga berfungsi untuk mengurangi kadar Fe dan Mn (Bhaskoro & Ramadhan, 2018).

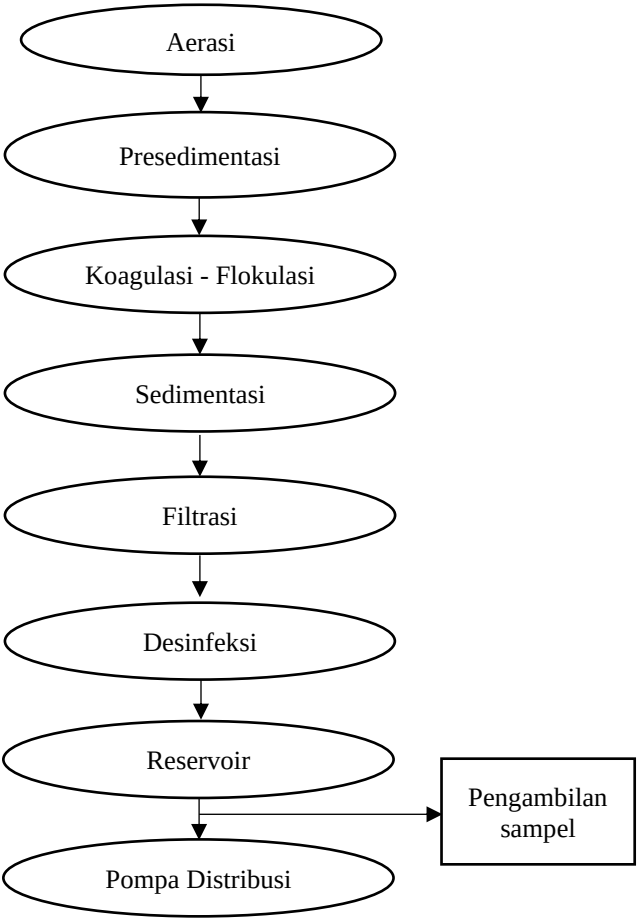
5. Desinfeksi

   Desinfeksi merupakan proses pemusnahan mikroorganisme atau bakteri yang menimbulkan penyakit (Said, 2007). Proses ini dilakukan untuk mengurangi dan mencegah berbagai macam infeksi.

6. Reservoir

   Reservoir merupakan tempat penampungan air bersih pada sistem penyediaan air bersih yang nantinya akan menjadi air bersih dan siap untuk digunakan (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, 2018).

Berikut merupakan diagram ilustrasi proses produksi air di PDAM Surya Sembada Surabaya.



Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Pengolahan Air PDAM Surya Sembada Surabaya

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil laboratorium kualitas air di PDAM Surya Sembada Surabaya di IPAM Ngagel I dari bulan Maret April 2019 hingga bulan Maret 2020. Pengambilan sampel dilakukan di pagi hari pada kurun waktu 24 jam pada setiap harinya yaitu pada pukul 7:30 WIB. Sampel air yang diambil adalah sebanyak 5 liter. Penggunaan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua musim yaitu musim kemarau pada tanggal 1 April 2019 – 30 November 2019, dan musim penghujan pada tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020.

3.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga parameter utama penentu kualitas air pada penelitian ini yang selanjutnya digunakan sebagai variabel. Berikut merupakan variabel-variabel yang digunakan pada penelitian ini.

1. *Turbidity*

   Turbidity atau kekeruhan air diakibatkan oleh proses sedimentasi atau adanya endapan partikel pada air yang terbawa saat hujan (Taufieq, 2009). *Turbidity* dapat diukur menggunakan alat digital yaitu *turbidimeter. Turbidity* pada ada air bersih memiliki standar yaitu 5 NTU (*Nephlometer Turbidity Unit*) (Parera, Supit, & Rumampuk, 2013).

2. Sisa *Chlor*

   Chlor merupakan zat kimia yang digunakan untuk purifikasi air. Dari berbagai macam zat kimia *Chlor* merupakan zat kimia yang paling banyak dipakai pada proses desinfeksi. Pengukuran sisa *Chlor* di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I menggunakan alat digital yang ditambahkan dengan abahan kimia DPD untuk tes *Chlorine.*

3. Zat Organik

   Zat organik yang terdapat pada air minum bisa disebabkan oleh aktivitas manusia dan alam. Zat organik yang berlebih

akan memberikan efek perubahan pada bau, rasa. Pengukuran zat organik pada air produksi IPAM Ngagel I dengan ditambahkannya zat $KMnO_4$. Batas maksimal zat organik pada air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 tahun 2010 adalah 1 mg/l. Setiap variabel memiliki satuan dan batas spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Spesifikasi
X_1	*Turbidity*	NTU	< 5 NTU
X_2	Zat Organik	mg/l	< 10 mg/l
X_3	Sisa *Chlor*	mg/l	< 1 mg/l

3.3 Struktur Data

Struktur data pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2 dengan pembagian musim kemarau dan penghujan.

Tabel 3.2 Struktur Data

Musim	Pengamatan ke-	Karakteristik Kualitas		
		X_1	X_2	X_3
Kemarau	1	$X_{1,1}$	$X_{2,1}$	$X_{3,1}$
	2	$X_{1,2}$	$X_{2,2}$	$X_{3,2}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
	i	$X_{1,j}$	$X_{2,j}$	$X_{i,j}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
	242	$X_{1,242}$	$X_{2,242}$	$X_{3,242}$
Penghujan	243	$X_{1,243}$	$X_{2,243}$	$X_{3,243}$
	244	$X_{1,244}$	$X_{2,244}$	$X_{3,244}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
	364	$X_{1,364}$	$X_{2,364}$	$X_{3,364}$

X_{ij} menyatakan nilai karakteristik kualitas ke-*j* pada observasi ke-*i* dengan j = 1,2,3 serta i = 1, 2, …,n.

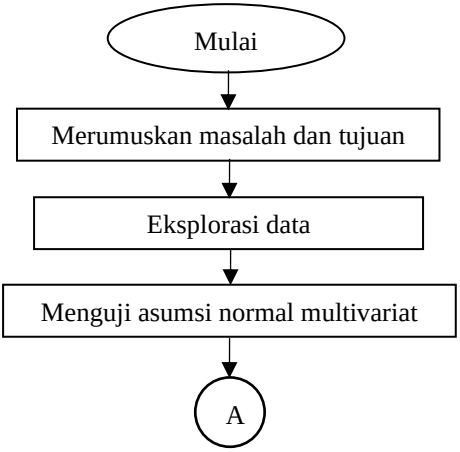
3.4 Langkah Analisis

Berikut ini adalah langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian.

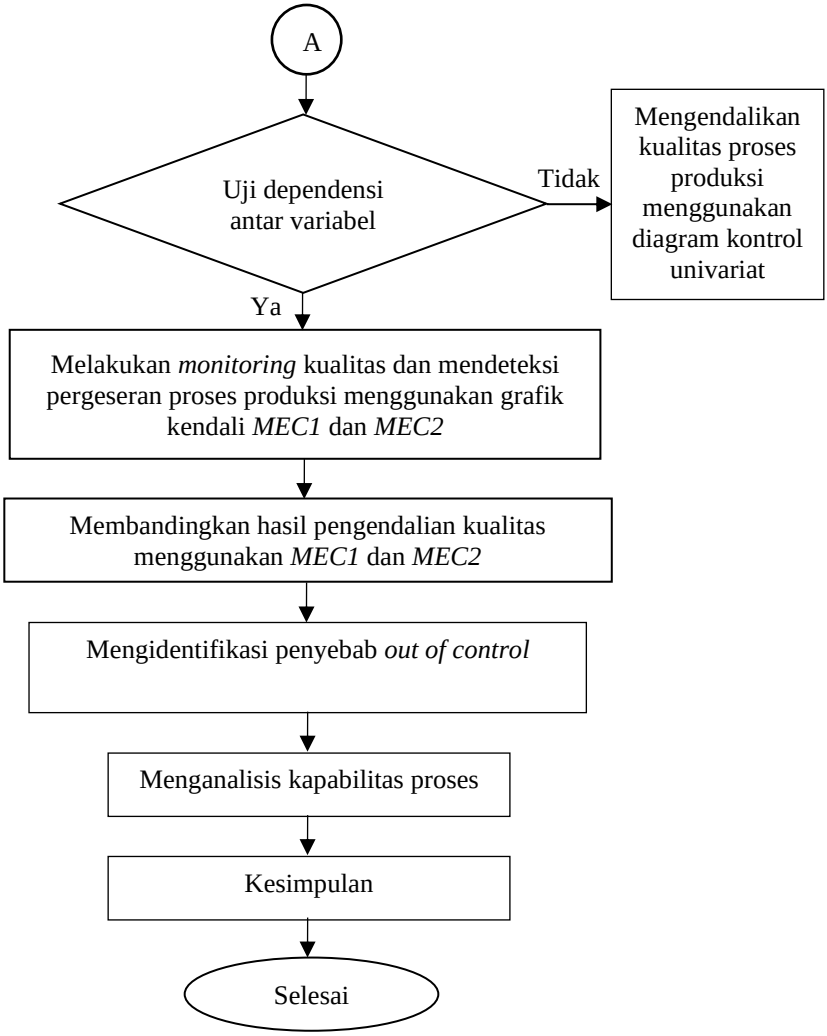
1. Merumuskan masalah dan tujuan penelitian.
2. Melakukan analisis statistika deskriptif pada masing-masing variabel penentu kualitas air.

3. Melakukan pengujian asumsi normal multivariat pada variabel *turbidity*, zat organik, dan sisa *Chlor*.
4. Melakukan pengujian dependensi antar variabel menggunakan uji *Bartlett* pada variabel *turbidity*, zat organik, dan sisa *Chlor* pada masing-masing data kualitas air di musim kemarau dan penghujan.
5. Melakukan pengontrolan *mean* proses menggunakan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* pada proses produksi air pada masing-masing musim kemarau dan musim penghujan.
6. Membandingkan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2*.
7. Mengidentifikasi penyebab *out of control* dengan kombinasi dua variabel karakteristik kualitas di musim kemarau dan penghujan.
8. Menghitung kapabilitas proses secara univariat dan multivariat.
9. Menginterpretasi hasil analisis.
10. Membuat kesimpulan dan saran.

Berdasarkan langkah analisis di atas maka diperoleh diagram alir yang menggambarkan alur melakukan penelitian seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Salah satu tahap penting pada proses produksi air di PDAM Surya Sembada Surabaya adalah *monitoring* kualitas berdasarkan kadar *turbidity*, zat organik, sisa *Chlor*, dan pH. Namun diantara variabel pengukuran tersebut, *turbidity*, zat organik, dan sisa *Chlor* merupakan variabel yang saling berhubungan dan cenderung fluktuatif. Perusahaan memiliki batas spesifikasi yang berpedoman pada Peraturan Menteri Kesehatan No.492/MENKES-/PER/IX/2010. Variabel *turbidity* memiliki batas spesifikasi sebesar kurang dari 5 NTU, zat organik dengan batas spesifikasi kurang dari 10 mg/l, sedangkan sisa *Chlor* memiliki batas spesifikasi kurang dari 1 mg/l.

Quality control atau pengontrolan kualitas yang dilakukan di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I ini hanya dilakukan sebatas pengukuran variabel karakteristik secara deskriptif, sehingga kualitas air produksinya belum dilakukan secara statistik. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian kualitas proses produksi secara statistik agar dapat mengetahui jika terdapat pergeseran pada proses produksi air di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I. Semakin ketat proses *monitoring* air maka akan menghasilkan kualitas air yang baik dan juga dapat digunakan sebagai *early warning system* bagi perusahaan untuk mengetahui pengamatan yang *out of control*. Data yang digunakan pada penelitian ini dibagi menjadi dua musim yaitu musim kemarau dari tanggal 1 April 2019 hingga 30 November 2019 dan musim penghujan dengan data kualitas air dari tanggal 1 Desember 2019 hingga 31 Maret 2020.

4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Air Produksi

Air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I didistribusikan ke perumahan-perumahan hingga industri besar, sebelum proses pendistribusian pastinya dilakukan pengontrolan kualitas air produksi dan akan diperoleh deskripsi karakteristik utama kualitas air produksi yaitu *turbidity*, zat organik,

serta sisa *Chlor* untuk mengetahui gambaran umum tentang variabel penentu baik buruknya kualitas air produksi seperti pada Tabel 4.1 yang didapatkan dari pengolahan menggunakan *software* Minitab dengan hasil pada Lampiran 2

Tabel 4.1 Karakteristik Variabel Kualitas Air Produksi

Variabel	Musim	*Mean*	Varians	Min	Maks	Spesifikasi
Turbidity (X_1)	Kemarau	0,875	0,061	0,320	2,800	< 5 NTU
	Penghujan	0,783	0,061	0,270	1,450	
Zat Organik (X_2)	Kemarau	7,435	4,019	3,180	14,700	< 10 mg/l
	Penghujan	8,223	5,694	2,740	13,810	
Sisa *Chlor* (X_3)	Kemarau	0,531	0,112	0,000	1,860	< 1 mg/l
	Penghujan	0,787	0,083	0,140	1,480	

Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa rata-rata variabel *turbidity* pada musim kemarau lebih besar dari *turbidity* di musim penghujan, sedangkan pada zat organik dan sisa *Chlor* memiliki rata-rata lebih besar di musim penghujan serta sudah berada di dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Jika dilihat dari nilai varians diketahui bahwa variabel *turbidity* memiliki varians yang sama pada musim hujan dam musim kemarau, sedangkan variabel zat organik dan sisa *Chlor* memiliki varians lebih tinggi daripada variabel *turbidity*. Jika dilihat dari nilai maksimum data kualitas air pada variabel zat organik dan sisa *Chlor* di musim kemarau maupun di musim penghujan berada di luar batas spesifikasi yang sudah ditentukan perusahaan berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. Hal tersebut dapat dapat dipengaruhi oleh banyaknya zat pencemar sehingga penambahan zat untuk mengurangi pencemar pada air.

Data kualitas air produksi di IPAM Ngagel I pada variabel *turbidity* di musim kemarau lebih tinggi daripada di musim penghujan. Hal tersebut tidak sesuai dengan teori di lapangan bahwa ketika musim penghujan *turbidity* akan mengalami peningkatan. Keadaan ini dapat disebabkan oleh kurangnya data yang digunakan serta kondisi alat yang digunakan saat produksi air. Sedangkan variabel zat organik dan sisa *Chlor* pada musim penghujan memiliki rata-rata lebih tinggi jika dibandingkan dengan musim kemarau.

4.2 Pemeriksaan Asumsi Normal dan Dependensi

Tiga karakteristik penentu kualitas air produksi yang digunakan adalah *turbidity*, zat organik, dan sisa *Chlor*, sehingga perlu dilakukan pengujian asumsi normal multivariat dan memeriksa hubungan antar variabel saling dependen atau tidak. Pengujian asumsi normal multivariat dilakukan menggunakan uji *Shapiro Wilk*.

Berdasarkan hasil pengujian normal multivariat menggunakan s*oftware* RStudio seperti pada Lampiran 3 pada taraf signifikan α = 5% menunjukkan hasil uji normalitas pada data kualitas air di musim kemarau dengan statistik uji W^* = 0,858 dan *p-value* = $3{,}800\times10^{-14}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa data kualitas air di musim kemarau tidak mengikuti persebaran distribusi normal multivariat karena memiliki nilai *p-value* < α. Meskipun tidak berdistribusi normal multivariat analisis tetap dilanjutkan karena metode *Multivariate EWMA-CUSUM* (*MEC*) bersifat *robust* terhadap distribusi yang tidak normal (Ajadi & Riaz, 2016). Sedangkan pada data kualitas air di musim penghujan memiliki statistik uji W^* = 0,982 dan *p-value* = 0,114, sehingga dapat disimpulkan bahwa data kualitas air produksi di musim penghujan mengikuti persebaran distribusi normal multivariat karena memiliki nilai *p-value* > α.

Selanjutnya pada pengujian asumsi dependensi yang diolah menggunakan *software* SPSS seperti pada Lampiran 4, penggunaan metode *Bartlett* dengan taraf signifikan α = 5% menunjukkan hasil nilai *chi-square* sebesar 38,447 pada musim kemarau dan 26,597 pada musim penghujan dengan derajat bebas adalah 3, dan nilai *p-value* sebesar 0,000 pada masing masing musim kemarau dan penghujan. Karena nilai *p-value* < α yaitu sebesar 5%, maka dapat disimpulkan bahwa ketiga variabel karakteristik kualitas air PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I yaitu *turbidity*, zat organik, dan sisa *Chlor* saling berkorelasi.

4.3 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC*

Pengendalian kualitas secara statistik diperlukan untuk meningkatakan kualitas proses produksi air di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I. Pengendalian kualitas dilakukan pada tiga variabel penentu kualitas yaitu *turbidity*, zat organik, dan juga sisa *Chlor* menggunakan grafik kendali *Multivariate EWMA-CUSUM* (*MEC*) dimana grafik kendali ini memiliki dua tipe yaitu *MEC1* dan *MEC2* untuk mendeteksi pergeseran proses. Data yang digunakan adalah data kualitas air produksi pada musim kemarau yaitu pada tanggal 1 April 2019 – 30 November 2019 serta pada musim penghujan yaitu pada tanggal 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020. Berdasarkan rekomendasi (Hawkins & Maboudou-Tchao, 2008) pada penelitian ini digunakan nilai pembobot λ sebesar 0,1, 0,2 dan 0,3 karena jika nilai pembobot semakin besar maka akan menghasilkan hasil yang bias.

4.3.1 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC1*

Proses pengendalian kualitas yang pertama dilakukan pada kualitas air produksi di musim kemarau yaitu pada 1 April 2019 – 30 November 2019 dan musim penghujan pada 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020 menggunakan grafik kendali *multivariate MEC1* untuk mengendalikan rata-rata proses. Berikut merupakan langkah-langkah membuat grafik kendali *MEC1*.

1. Membuat vektor *mean* dari kualitas air produksi di IPAM Ngagel I, dimana nilai vektor *mean* menggunakan nilai dari sampel pada musim kemarau ($\boldsymbol{\mu}_{0_K}$) dan musim penghujan ($\boldsymbol{\mu}_{0_H}$). Berikut merupakan nilai vektor *mean* pada kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I.

$$\boldsymbol{\mu}_{0_K} = \begin{bmatrix} 0,875 \\ 7,434 \\ 0,530 \end{bmatrix}, \boldsymbol{\mu}_{0_H} = \begin{bmatrix} 0,783 \\ 8,222 \\ 0,787 \end{bmatrix}.$$

Setelah menghitung vektor *mean* kualitas air produksi di musim kemarau dan penghujan maka langkah selanjutnya adalah menghitung matriks kovarians data kualitas air produksi di musim kemarau ($\mathbf{\Sigma}_K$) dan musim penghujan ($\mathbf{\Sigma}_H$) sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut.

$$\mathbf{\Sigma}_K = \begin{bmatrix} 0,061 & 0,169 & -0,014 \\ 0,169 & 4,002 & -0,078 \\ -0,014 & -0,078 & 0,112 \end{bmatrix},$$

dan

$$\mathbf{\Sigma}_H = \begin{bmatrix} 0,061 & 0,175 & -0,015 \\ 0,175 & 5,694 & -0,224 \\ -0,015 & -0,224 & 0,083 \end{bmatrix}.$$

2. Setelah membuat vektor *mean* dan matriks kovarians dari data kualitas air produksi, selanjutnya adalah menghitung nilai $\boldsymbol{Z}_i$ dengan persamaan (2.4) menggunakan $\lambda = 0,1$. Perhitungan nilai $\boldsymbol{Z}_i$ dilakukan untuk i=1, 2, …, n. Berikut merupakan nilai $\boldsymbol{Z}_i$ pada observasi ke-i = 1.

$$\mathbf{Z}_{1_K} = \begin{bmatrix} 0,147 \\ 0,535 \\ 0,050 \end{bmatrix}, \mathbf{Z}_{1_H} = \begin{bmatrix} 0,068 \\ 0,743 \\ 0,080 \end{bmatrix}.$$

3. Pada proses ini akan dihitung matriks $\mathbf{\Sigma}_{Z_i}$ menggunakan persamaan (2.5) sehingga didapatkan $\mathbf{\Sigma}_{Z_1}$ sebagai berikut.

$$\mathbf{\Sigma}_{Z_1 K} = \begin{bmatrix} 0,003 & 0,008 & -0,0007 \\ 0,008 & 0,210 & -0,004 \\ -0,0007 & -0,004 & 0,005 \end{bmatrix},$$

dan

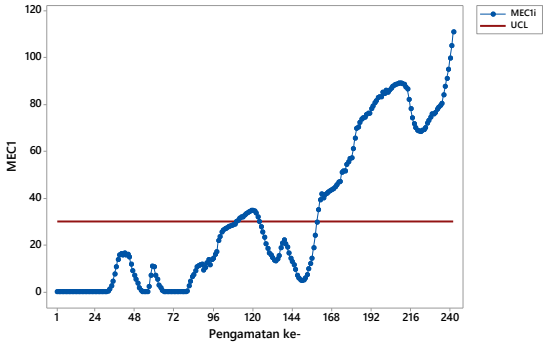
$$\mathbf{\Sigma}_{Z_1H} = \begin{bmatrix} 0,003 & 0,009 & -0,0008 \\ 0,009 & 0,297 & -0,011 \\ -0,0008 & -0,011 & 0,004 \end{bmatrix}.$$

4. Setelah menghitung $\mathbf{\Sigma}_{Z_1}$, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai MEC_i menggunakan persamaan (2.11) dengan mendapatkan nilai vektor k^* terlebih dahulu menggunakan persamaan (2.12). MEC_i dihitung sebanyak i=1, 2, …, n.
5. Setelah mendapatkan MEC_i maka dapat dihitung statistik $MEC1_i$ menggunakan persamaan (2.14) dan didapatkan $MEC1_i$ sebanyak i=1, 2, …, n.
6. Menentukan batas kendali h_4 dengan melakukan simulasi *ARL*. Berikut merupakan langkah-langkah melakukan simulasi *ARL*.
   a. Membangkitkan 10000 data secara acak dengan *mean* dan matriks varians kovarians yang sama seperti data kualitas air IPAM Ngagel I.
   b. Memilih 1000 data secara acak dari hasil random data.
   c. Menghitung nilai statistik grafik kendali dengan i=1, 2, …, 1000.
   d. Menentukan nilai inisialisasi awal *UCL* (*h*) yang didapatkan dari nilai kuartil *alpha* 0,5%.
   e. Berdasarkan nilai statistik yang sudah didapatkan dari 1000, nilai observasi pertama yang keluar dari *UCL* akan menjadi *Run Length* (*RL*).
   f. Menghitung RL sebanyak 100 kali dan selanjutnya menghitung rata-rata dari 100 RL yang didapatkan dan nilai tersebut menjadi *ARL*. Karena sebelumnya menggunakan kuartil 0,5% maka *ARL* yang digunakan adalah 200. Jika rata-rata yang didapat kurang dari atau lebih dari *ARL* maka nilai *h* dapat dinaikkan atau diturunkan sehingga mendapatkan *ARL* mendekati 200.
7. Memplotkan *MEC1i* yang didapatkan pada langkah nomor 5 dan *UCL* yang sudah didapatkan.

Setelah MEC_i dan *UCL* divisualkan pada grafik maka dapat diketahui pengamatan yang keluar dari batas kendali. Hal yang sama juga dilakukan pada data kualitas air produksi di musim penghujan.

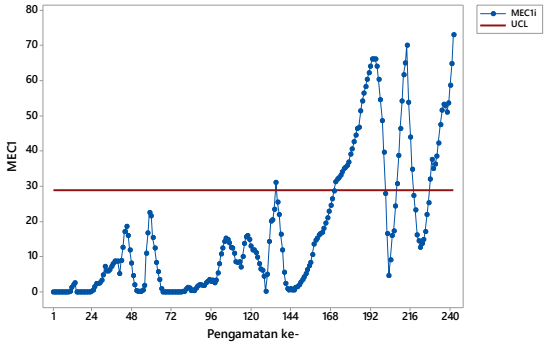
A. Grafik Kendali *MEC1* Pada Musim Kemarau

Monitoring pertama yang dilakukan pada data kualitas air pada musim kemarau yaitu pada periode 1 April 2019 – 30 November 2019. Hasil perhitungan menggunakan grafik kendali *MEC1* berada pada Lampiran 6. Gambar 4.1 merupakan hasil dari grafik kendali *MEC1* pada data kualitas air produksi di musim kemarau.



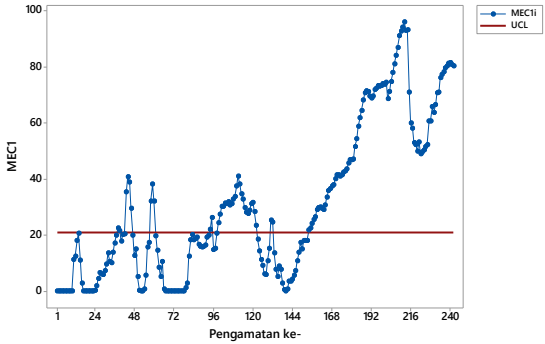
Gambar 4.1 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,1

Berdasarkan grafik kendali *MEC1* pada Gambar 4.1 sebagaimana diketahui memiliki *UCL* = 30,027. Proses dikatakan telah terkendali secara statistik jika nilai statistik $MEC1_i$ berada di bawah *UCL*, namun jika nilai statistik $MEC1_i$ berada di atas *UCL* maka proses produksi air dikatakan tidak terkendali secara statistik. Pada Gambar 4.1 didapatkan informasi bahwa terdapat cukup banyak nilai yang berada di luar batas *UCL* atau pengamatan *out of control* yaitu sebanyak 96 dari 242 keseluruhan pengamatan sehingga pada pengamatan *quality control* di PDAM IPAM Ngagel I pada periode 1 April 2019 hingga 30 November 2019 memiliki proses produksi air produksi yang belum terkendali secara statistik. Setelah itu dilakukan pengamatan menggunakan pembobot λ = 0,2 sehingga didapatkan grafik seperti pada Gambar 4.2 dan pembobot λ = 0,3 pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,2

Pada grafik kendali *MEC1* dengan pembobot λ = 0,2 dan *UCL* = 28,940 didapatkan sebanyak 56 pengamatan yang *out of control*. Jika dibandingkan dengan grafik kendali *MEC1* dengan bobot λ = 0,1, pembobot λ = 0,2 memiliki jumlah pengamatan di luar batas kendali lebih sedikit namun proses produksi air tetap dikatakan tidak terkendali secara statistik.

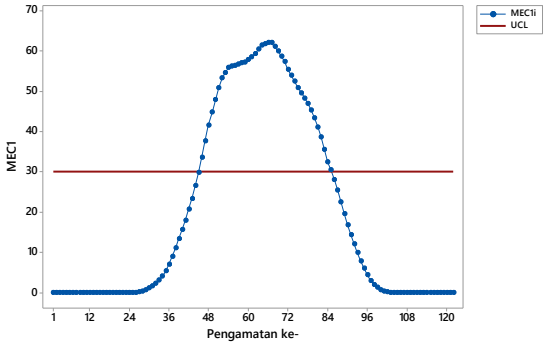


Gambar 4.3 Grafik Kendali *MEC1* Musim Kemarau dengan λ = 0,3

Grafik kendali *MEC1* pada Gambar 4.3 dengan bobot λ = 0,3 dan *UCL* = 20,890 memiliki jumlah pengamatan *out of control* terbanyak jika dibandingkan dengan nilai pembobot λ = 0,1 dan λ = 0,2, yaitu sebanyak 126 pengamatan *out of control*. Karena pada pembobot 0,3 memiliki nilai pengamatan *out of control* terbanyak maka pembobot optimal yang digunakan pada grafik kendali *MEC1* pada musim kemarau adalah 0,3.

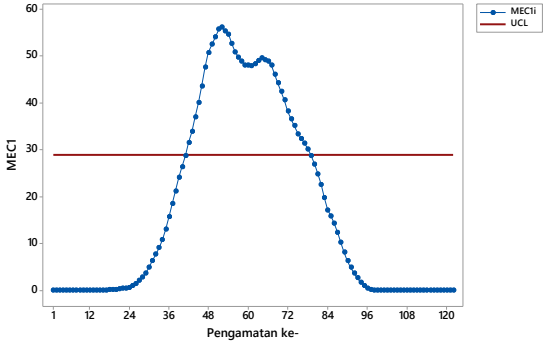
B. Grafik Kendali *MEC1* Pada Musim Penghujan

Setelah dilakukan *monitoring* kualitas air produksi menggunakan grafik kendali *MEC1* pada musim kemarau maka selanjutnya adalah menerapkan grafik kendali *MEC1* data kualitas air produksi IPAM Ngagel I pada musim penghujan yaitu pada periode 1 Desember 2019 – 31 Maret 2020.



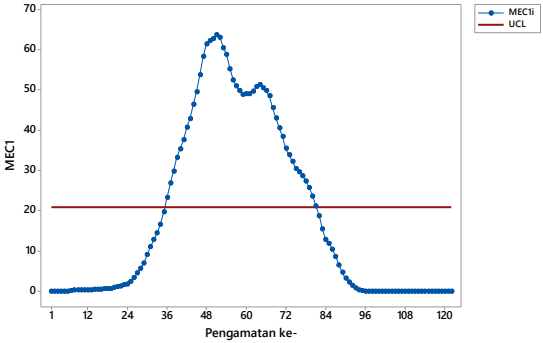
Gambar 4.4 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan λ = 0,1

Pada Gambar 4.4 diketahui bahwa grafik kendali *MEC1* dengan λ = 0,1 dan *UCL* = 30,027 pada musim penghujan memiliki jumlah pengamatan yang *out of control* sebanyak 40 dari 122 keseluruhan pengamatan. Hal tersebut menyatakan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I pada musim penghujan tidak terkendali secara statistik. Selanjutnya adalah *monitoring* proses produksi air produksi menggunakan *MEC1* dengan λ = 0,2 dengan hasil pada Gambar 4.5 dan λ = 0,3 dengan hasil pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan λ = 0,2

Pada perhitungan grafik kendali *MEC1* pada musim penghujan dengan $\lambda = 0{,}2$ dan *UCL* = 28,940 diketahui bahwa terdapat 37 pengamatan yang *out of control*. Jika dibandingkan dengan hasil grafik *MEC1* pada musim penghujan dengan $\lambda = 0{,}1$, grafik kendali *MEC1* dengan $\lambda = 0{,}2$ memiliki jumlah pengamatan *out of control* lebih sedikit namun dengan $\lambda = 0{,}2$ proses produksi air di IPAM Ngagel I masih belum terkendali secara statistik.



Gambar 4.6 Grafik Kendali *MEC1* Musim Penghujan dengan $\lambda = 0{,}3$

Berdasarkan Gambar 4.6 didapatkan informasi bahwa grafik kendali *MEC1* dengan $\lambda = 0{,}3$ dan *UCL* = 20,890 pada musim penghujan memiliki jumlah pengamatan di luar batas kendali atau *out of control* sebanyak 46 pengamatan sehingga proses produksi air di IPAM Ngagel I dapat dikatakan tidak terkendali secara statistik. Jika dibandingkan dengan $\lambda = 0{,}1$ dan $\lambda = 0{,}2$, *monitoring* proses produksi air produksi di IPAM Ngagel I menggunakan grafik kendali *MEC1* dengan $\lambda = 0{,}3$ memiliki jumlah pengamatan di luar batas kendali lebih banyak sehingga lambda optimal untuk grafik kendali *MEC1* pada musim penghujan adalah 0,3. Setelah dilakukan *monitoring* kualitas proses produksi air menggunakan grafik kendali *MEC1* maka selanjutnya dilakukan *monitoring* proses produksi menggunakan grafik kendali *MEC2* dimana grafik kendali ini adalah transformasi dari grafik kendali *MC1* dengan *MEWMA*.

4.3.2 *Monitoring* Kualitas Air Menggunakan Grafik Kendali *MEC2*

Seperti yang dilakukan pada *monitoring* kualitas air menggunakan grafik kendali *MEC1,* pada grafik kendali *MEC2* juga akan diterapkan pada data musim kemarau terlebih dahulu lalu dilanjutkan pada data musim hujan. Berikut merupakan langkah-langkah untuk menghitung statistik $MEC2_i$ pada grafik kendali *MEC2.*

1. Membuat vektor *mean* dari data kualitas air pada masing-masing musim kemarau dan musim penghujan. Langkah ini sama dengan langkah pertama pada grafik kendali *MEC1*.
2. Setelah membuat vektor *mean* maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai $\mathbf{Z}_i$ dengan persamaan (2.4) menggunakan $\lambda = 0{,}10$ terlebih dahulu kemudian mengurangkan $\mathbf{Z}_i$ dengan vektor *mean* sehingga diperoleh $\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_{0_K}$ untuk musim kemarau dan $\mathbf{Z}_i - \boldsymbol{\mu}_{0_H}$ untuk musim penghujan.
3. Selanjutnya, dengan persamaan (2.15) diperoleh S_i yang dihitung sebanyak $i = 1, 2, \ldots, n$. Berikut merupakan S_i saat $i = 1$.

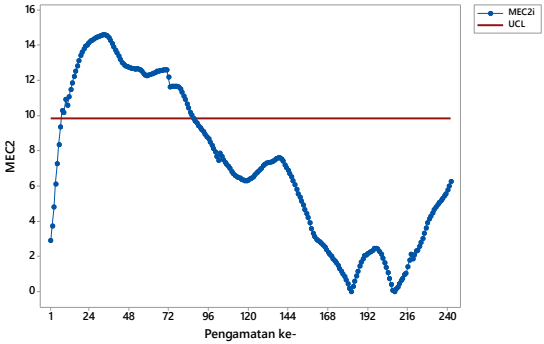
$$S_{iK} = \begin{bmatrix} -0{,}728 \\ -6{,}899 \\ -0{,}481 \end{bmatrix}, S_{iH} = \begin{bmatrix} -0{,}715 \\ -7{,}479 \\ -0{,}707 \end{bmatrix}$$

4. Setelah diperoleh S_i maka akan dihitung $MEC2_i$ sebagai statistik dari grafik kendali *MEC2* menggunakan persamaan (2.16) dan dilakukan sebanyak $i = 1, 2, \ldots, n$.
5. Menentukan batas kendali h_5 menggunakan simulasi *ARL* dengan cara yang sama seperti pada simulasi *ARL* grafik kendali *MEC1*.
6. Membuat plot statistik *MEC2* dan batas kendali h_5 yang sudah didapatkan.

A. Grafik Kendali *MEC2* Pada Musim Kemarau

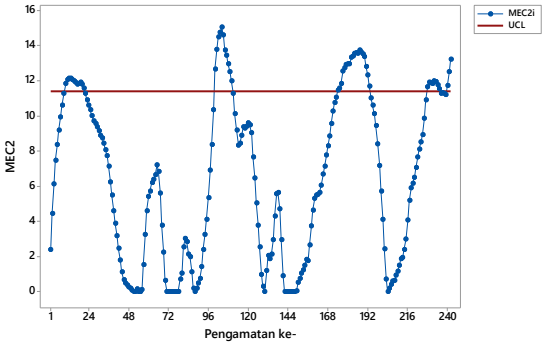
Pada grafik kendali ini dilakukan perhitungan menggunakan tiga nilai pembobot yaitu 0,1, 0,2, dan 0,3 seperti pada grafik kendali *MEC1* sebelumnya. Hasil perhitungan menggunakan grafik

kendali *MEC2* berada pada Lampiran 7. Gambar 4.7 berikut merupakan grafik kendali *MEC2* pada musim kemarau menggunakan $\lambda = 0{,}1$.



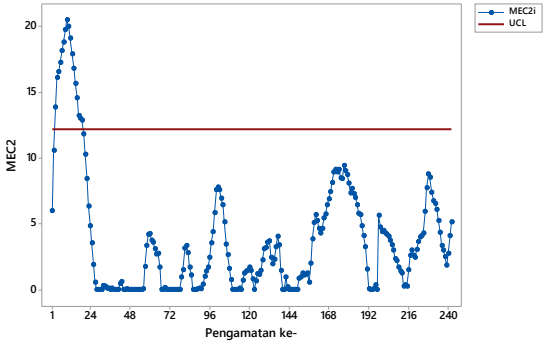
Gambar 4.7 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan $\lambda = 0{,}1$

Berdasarkan grafik 4.7 diketahui bahwa grafik kendali *MEC2* pada musim kemarau menggunakan $\lambda = 0{,}1$ dan *UCL* = 9,863 memiliki cukup banyak pengamatan yang keluar dari batas kendali atau pengamatan *out of control* sebanyak 79 dari 242 keseluruhan pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan nilai pembobot 0,1 pada grafik *MEC2* proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik. Selanjutnya adalah membuat grafik *MEC2* pada musim kemarau menggunakan $\lambda = 0{,}1$ seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan $\lambda = 0{,}2$

Pada grafik kendali *MEC2* dengan λ = 0,2 dan *UCL* = 11,401 didapatkan informasi bahwa terdapat 54 pengamatan *out of control* dimana jika dibandingkan dengan λ = 0,1, grafik *MEC2* dengan λ = 0,2 memiliki jumlah pengamatan *out of control* lebih sedikit namun tetap dikatakan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik. Perbandingan selanjutnya adalah dengan grafik kendali *MEC2* dengan λ = 0,3 seperti pada Gambar 4.9 berikut.

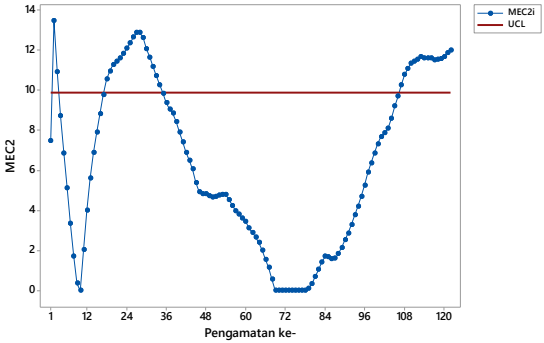


Gambar 4.9 Grafik Kendali *MEC2* Musim Kemarau dengan λ = 0,3

Berdasarkan Gambar 4.9 diketahui bahwa grafik kendali *MEC2* dengan λ = 0,3 dan *UCL* = 12,195 didapatkan 17 pengamtan *out of control* sehingga dengan λ = 0,3 proses produksi air di IPAM Ngagel I dikatakan tidak terkendali secara statistik. Pada nilai pembobot 0,3 memiliki jumlah pengamatan *out of control* paling sedikit jika dibandingkan dengan nilai pembobot 0,1 dan 02, serta nilai pembobot 0,1 memiliki jumlah pengamatan *out of control* terbanyak sehingga nilai pembobot optimal yang digunakan untuk grafik kendali *MEC2* pada data karakteristik air di musim kemarau adalah 0,1.

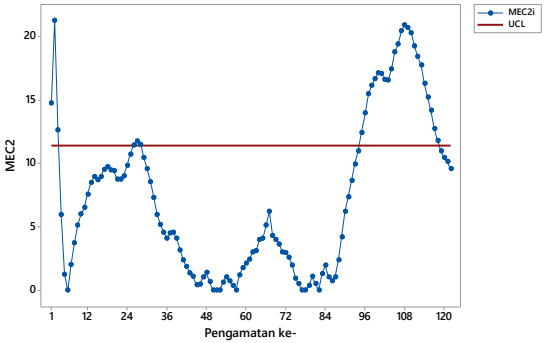
B. Grafik Kendali *MEC2* Pada Musim Penghujan

Setelah melakukan *monitoring* proses produksi air produksi di IPAM Ngagel I pada musim kemarau maka selanjutnya adalah memonitor proses produksi di musim penghujan dengan menggunakan nilai pembobot yang sama pada musim kemarau yaitu 0,1, 0,2, dan 0,3.



Gambar 4.10 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan λ = 0,1

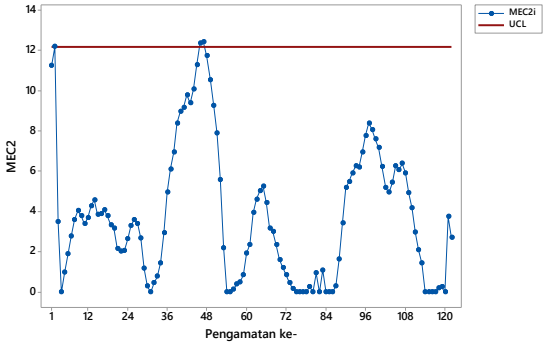
Pada perhitungan pertama pada *MEC2* musim penghujan dengan λ = 0,1 dan *UCL* = 9,863 diketahui terdapat 35 pengamatan *out of control* dari 122 keseluruhan pengamatan, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan grafik kendali *MEC2* menggunakan λ = 0,1 proses produksi air di IPAM Ngagel I dikatakan tidak terkendali secara statistik. Selanjutnya adalah perhitungan *MEC2* menggunakan λ = 0,2 seperti pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan λ = 0,2

Berdasarkan grafik 4.11 didapatkan informasi bahwa grafik kendali *MEC2* menggunakan λ = 0,2 dan *UCL* = 11,401 memiliki pengamatan *out of control* sebanyak 30 pengamatan. Oleh karena masih terdapat mengamatan yang berada di luar batas kendali maka

proses produksi air di IPAM Ngagel I dapat dikatakan tidak terkendali secara statistik. Selanjutnya dilakukan perhitungan *MEC2* menggunakan $\lambda = 0{,}3$ seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Kendali *MEC2* Musim Penghujan dengan $\lambda = 0{,}3$

Pada Gambar 4.12 diketahui bahwa dengan grafik *MEC2* pada musim penghujan menggunakan $\lambda = 0{,}3$ dan *UCL* = 12,195 masih terdapat pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu hanya 2 pengamatan *out of control*. Nilai pembobot optimal yang digunakan untuk grafik kendali *MEC2* pada data karakteristik air di musim penghujan adalah 0,1 karena memiliki nilai pengamatan *out of control* terbanyak.

4.4 Perbandingan *MEC1* dan *MEC2*

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya pada penelitian ini. Tabel 4.4 berikut merupakan perbandingan hasil perhitungan *MEC1* dan *MEC2* dengan nilai pembobot yang digunakan adalah 0,1, 0,2, dan 0,3.

Tabel 4.2 Perbandingan *MEC1* dan *MEC2*

Musim	λ	Jumlah OOC	
		MEC1	***MEC2***
Kemarau	0,1	96	79
	0,2	56	54
	0,3	126	17

Tabel 4.3 Perbandingan *MEC1* dan *MEC2* (lanjutan)

Musim	λ	Jumlah OOC	
		MEC1	***MEC2***
Penghujan	0,1	40	35
	0,2	37	30
	0,3	46	2

Pada Tabel 4.2 didapatkan informasi bahwa dengan nilai pembobot yang sama yaitu 0,1, 0,2, dan 0,3 pada grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* yang diterapkan pada data karakteristik kualitas air produksi PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I, grafik kendali *MEC1* pada musim kemarau sedikit lebih sensitif daripada grafik kendali *MEC2* karena pada grafik *MEC1* pada musim kemarau memiliki jumlah pengamatan *out of control* lebih banyak daripada grafik *MEC1*. Hal yang sama terjadi juga pada musim penghujan grafik *MEC1* memiliki jumlah pengamatan *out of control* lebih banyak daripada *MEC2*, sehingga dapat disimpulkan bahwa *MEC1* lebih sensitif daripada *MEC2* pada nilai pembobot 0,1;0,2; dan 0,3. Hal ini sesuai dengan Ajadi dan Riaz (2016) yang menyatakan bahwa grafik kendali *MEC1* akan lebih sensitif dari grafik kendali *MEC2* pada nilai pembobot yang digunakan.

4.5 Identifikasi *Out of Control*

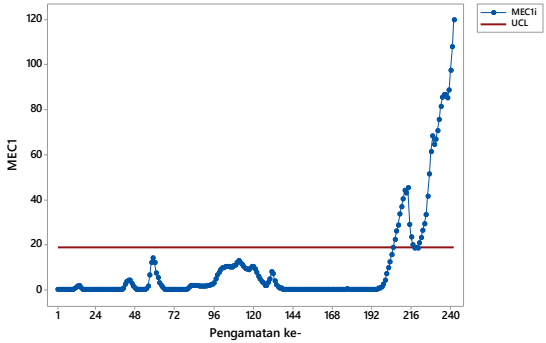
Berdasarkan analisis pada masing-masing grafik kendali menunjukkan bahwa proses produksi air di IPAM Ngagel I tidak terkendali secara statistik. Oleh karena itu selanjutnya dilakukan identifikasi penyebab *out of control* dengan mengombinasikan dua variabel karakteristik kualitas yaitu *turbidity* dengan zat organik, *turbidity* dengan sisa *Chlor*, serta zat organik dengan sisa *Chlor*.

4.5.1 Identifikasi *Out of Control* pada Grafik Kendali *MEC1*

Pada proses identifikasi penyebab *out of control* pada grafik *MEC1* ini digunakan $\lambda = 0{,}3$ dan $UCL = 18{,}720$ yang dilakukan pada masing-masing musim penghujan dan musim kemarau. Hasil perhitungan identifikasi *out of control* menggunakan grafik kendali *MEC1* berada pada Lampiran 8.

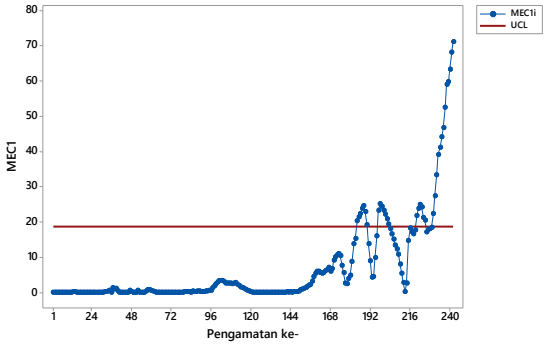
A. Identifikasi *OOC MEC1* pada Musim Kemarau

Identifikasi pertama variabel penyebab *out of control* dilakukan pada kombinasi variabel *turbidity* dengan variabel zat organik pada musim kemarau dengan hasil seperti pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Kemarau

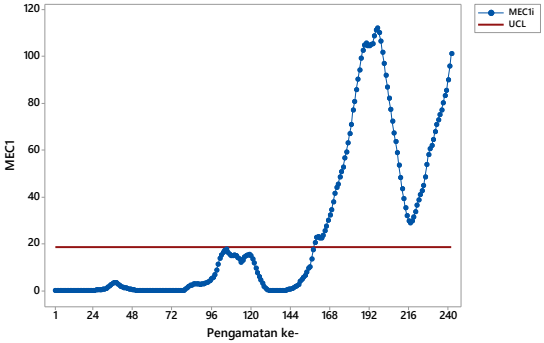
Pada Gambar 4.13 memberikan informasi bahwa terdapat banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu sebanyak 35 pengamatan dari 242 keseluruhan pengamatan. Selanjutnya pada identifikasi kedua variabel penyebab *out of control* dengan mengombinasikan variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* dengan hasil pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau

Berdasarkan Gambar 4.14 didapatkan informasi bahwa pada kombinasi variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* terdapat

pengamatan yang *out of control* yaitu sebanyak 33 pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas *turbidity* - dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik. Kombinasi selanjutnya adalah variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor* dengan hasil seperti pada Gambar 4.15.

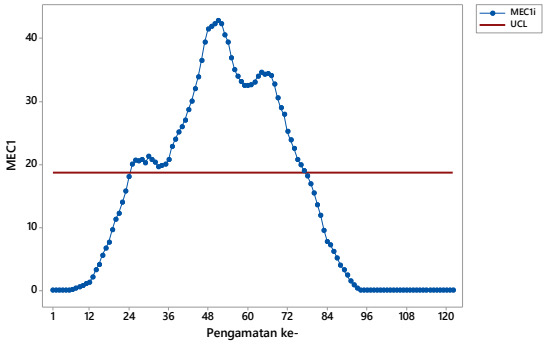


Gambar 4.15 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau

Pada Gambar 4.15 diketahui bahwa pada deteksi penyebab *out of control* dengan kombinasi variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor* masih terdapat pengamatan yang *out of control* yaitu sebanyak 84 pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel zat organik dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik.

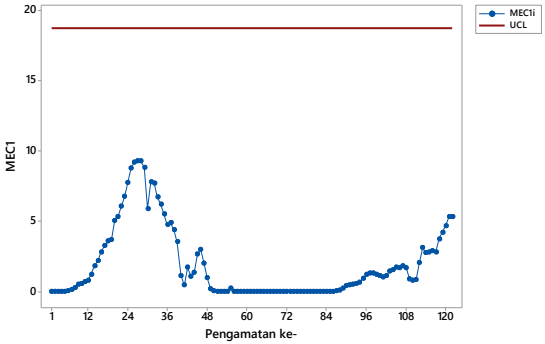
B. Identifikasi *OOC MEC1* pada Musim Penghujan

Setelah identifikasi penyebab *out of control* pada musim kemarau menggunakan grafik kendali *MEC1* maka langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi penyebab *out of control* pada musim penghujan dengan kombinasi variabel yang sama seperti sebelumnya.



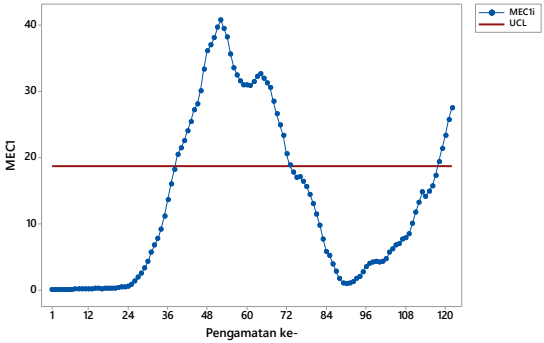
Gambar 4.16 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Penghujan

Identifikasi variabel penyebab *out of control* pada musim penghujan dengan grafik *MEC1* pada variabel *turbidity* dan zat organik pada Gambar 4.16 diketahui bahwa terdapat banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu sebanyak 53 dari 122 keseluruhan pengamatan sehingga karakteristik kualitas *turbidity* dan zat organik belum terkendali secara statistik. Selanjutnya dilakukan identifikasi penyebab *out of control* dengan mengombinasikan variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* pada musim penghujan dengan hasil pada Gambar 4.17 dan kombinasi variabel zat organik dengan sisa *Chlor* dengan hasil pada Gambar 4.18 berikut.



Gambar 4.17 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1 Variabel Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan

Berdasarkan Gambar 4.17 didapatkan informasi bahwa pada kombinasi variabel *turbidity* dan sisa *Chlor* pada musim kemarau tidak terdapat pengamatan *out of control* sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi air produksi dengan kombinasi tersebut terkendali secara statistik. Kombinasi terakhir adalah kombinasi variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor* dengan hasil seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1 Variabel* Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan

Pada Gambar 4.18 didapatkan informasi bahwa kombinasi variabel zat organik dengan variabel sisa *Chlor* memiliki 40 pengamatan *out of control* artinya bahwa karakteristik kualitas zat organik dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik. Berdasarkan enam kombinasi yang terbentuk pada kedua musim hasil identifikasi variabel penyebab *out of control* pada grafik kendali *MEC1* dapat dibandingkan seperti pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC1*

Musim	λ	Kombinasi Variabel	Jumlah OOC
Kemarau	0,3	*Turbidity* dan Zat Organik	35
		Turbidity dan Sisa *Chlor*	33
		Zat Organik dan Sisa *Chlor*	84
Penghujan	0,3	*Turbidity* dan Zat Organik	53
		Turbidity dan Sisa *Chlor*	0
		Zat Organik dan Sisa *Chlor*	40

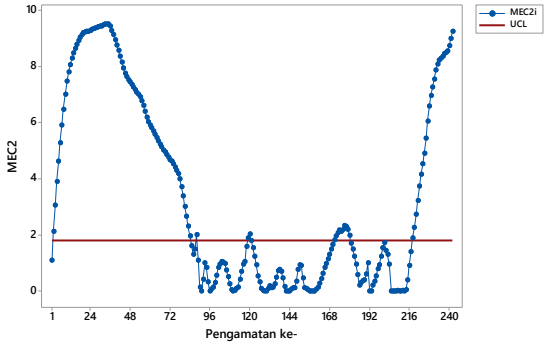
Berdasarkan perbandingan pada Tabel 4.3 didapatkan informasi bahwa pada musim kemarau variabel zat organik dan sisa *Chlor* merupakan variabel penyebab *out of control* terbanyak yaitu sebanyak 84 pengamatan *out of control* dan kombinasi variabel *turbidity* dengan zat organik memiliki 35 pengamatan *out of control*. Jika dilihat pada musim penghujan jumlah pengamatan *out of control* terbanyak juga terjadi pada kombinasi variabel zat organik dengan sisa *Chlor* yaitu sebanyak 53 pengamatan dan kombinasi variabel *turbidity* dan zat organik memiliki jumlah pengamatan *out of control* sebanyak 40 pengamatan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa variabel zat organik memiliki pengaruh yang cukup kuat sebagai penyebab *out of control* terbanyak.

4.5.2 Identifikasi *Out of Control pada* Grafik Kendali *MEC2*

Pada identifikasi penyebab *out of control* pada grafik *MEC2* digunakan bobot optimal yaitu $\lambda = 0{,}1$ dan $UCL = 1{,}81$ yang akan diterapkan pada musim kemarau dan musim penghujan. Hasil perhitungan identifikasi *out of control* menggunakan grafik kendali *MEC2* berada pada Lampiran 9.

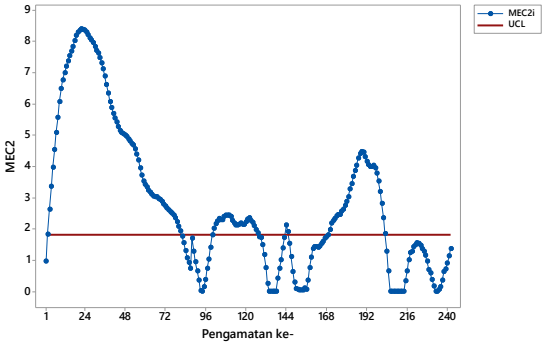
A. Identifikasi *OOC MEC2* pada Musim Kemarau

Sama seperti grafik kendali *MEC1*, identifikasi pertama variabel penyebab *out of control* pada grafik *MEC2* dilakukan pada kombinasi variabel *turbidity* dengan variabel zat organik pada musim kemarau dengan hasil seperti pada Gambar 4.19.



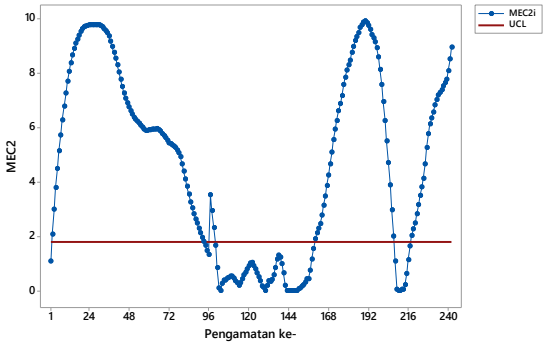
Gambar 4.19 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Kemarau

Identifikasi variabel penyebab *out of control* dengan grafik *MEC2* pada variabel *turbidity* dan zat organik pada Gambar 4.19 memberikan informasi bahwa terdapat 120 pengamatan *out of control*, sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas *turbidity* dan zat organik belum terkendali secara statistik. Selanjutnya pada identifikasi variabel penyebab *out of control* dengan mengombinasikan variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* dengan hasil pada Gambar 4.20 serta kombinasi anatara variabel zat organik dengan sisa *Chlor* dengan hasil seperti pada Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4.20 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau

Berdasarkan Gambar 4.20 didapatkan informasi bahwa pada kombinasi variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* terdapat pengamatan *out of control* yaitu sebanyak 116 pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas *turbidity* dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik. Berikut merupakan kombinasi variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor*.

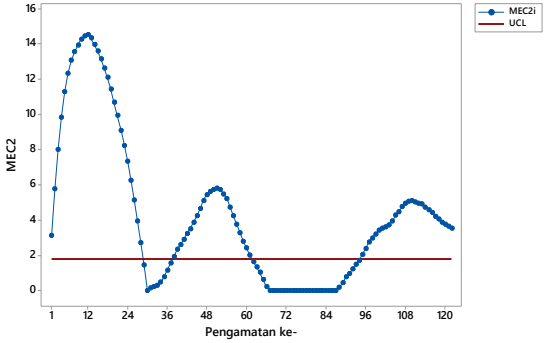


Gambar 4.21 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Kemarau

Pada Gambar 4.21 diketahui bahwa pada deteksi penyebab *out of control* dengan kombinasi variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor* masih terdapat pengamatan yang *out of control* yaitu sebanyak 168 pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas zat organik dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik.

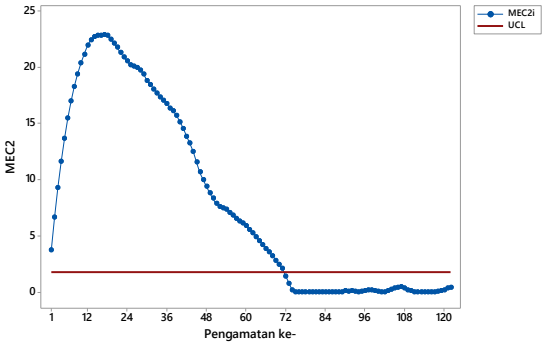
B. Identifikasi *OOC MEC2* pada Musim Penghujan

Setelah identifikasi penyebab *out of control* pada musim kemarau selanjutnya adalah identifikasi penyebab *out of control* pada musim penghujan dengan kombinasi variabel yang sama.



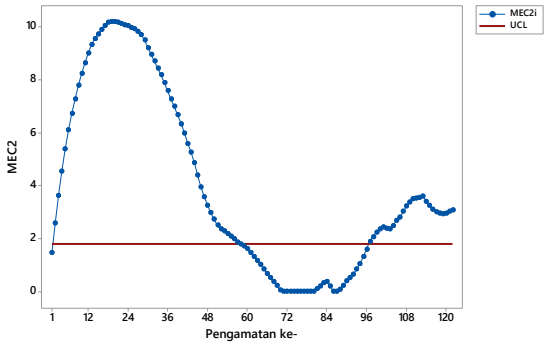
Gambar 4.22 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2* Variabel *Turbidity* dan Zat Organik pada Musim Penghujan

Identifikasi variabel penyebab *out of control* pada musim penghujan dengan grafik *MEC1* pada variabel *turbidity* dan zat organik pada Gambar 4.22 diketahui bahwa terdapat banyak pengamatan yang berada di luar batas kendali yaitu sebanyak 80 pengamatan sehingga karakteristik kualitas *turbidity* dan zat organik belum terkendali secara statistik. Selanjutnya dilakukan identifikasi penyebab *out of control* dengan mengombinasikan variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* pada musim penghujan dengan hasil pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2 Variabel Turbidity* dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan

Berdasarkan Gambar 4.23 didapatkan informasi bahwa pada kombinasi variabel *turbidity* dengan variabel sisa *Chlor* pada musim kemarau terdapat pengamatan yang *out of control* yaitu hanya sebanyak 71 pengamatan sehingga dapat disimpulkan bahwa karakteristik kualitas *turbidity* dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik. Kombinasi terakhir untuk mengidentifikasi penyebab *out of control* adalah kombinasi variabel zat organik dan variabel sisa *Chlor* dengan hasil seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2 Variabel* Zat Organik dan Sisa *Chlor* pada Musim Penghujan

Pada Gambar didapatkan informasi bahwa kombinasi variabel zat organik dengan variabel sisa *Chlor* memiliki jumlah pengamatan *out of control* sebanyak 73 pengamatan artinya bahwa karakteristik kualitas zat organik dan sisa *Chlor* belum terkendali secara statistik. Berdasarkan enam kombinasi yang terbentuk pada musim penghujan dan musim kemarau hasil identifikasi variabel penyebab *out of control* pada grafik kendali *MEC1* dapat dibandingkan seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Identifikasi *Out of Control* Grafik Kendali *MEC2*

Musim	λ	Kombinasi Variabel	Jumlah OOC
Kemarau	0,1	*Turbidity* dan Zat Organik	120
		Turbidity dan Sisa *Chlor*	116
		Zat Organik dan Sisa *Chlor*	168
Penghujan	0,1	*Turbidity* dan Zat Organik	80
		Turbidity dan Sisa *Chlor*	71
		Zat Organik dan Sisa *Chlor*	73

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 4.4 didapatkan informasi bahwa pada musim kemarau variabel *turbidity* dan zat organik serta variabel zat organik dan sisa *Chlor* merupakan kombinasi variabel penyebab *out of control* terbanyak. Jika dilihat pada musim penghujan penyebab *out of control* terbanyak adalah kombinasi variabel *turbidity* dan sisa *Chlor* serta variabel zat organik

dan sisa *Chlor*. Oleh karena itu, variabel zat organik mempunyai pengaruh yang besar sebagai penyebab terjadinya pengamtan *out of control* di musim kemarau dan musim penghujan.

4.6 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses pada penelitian ini dilakukan untuk mengukur kemampuan kinerja proses produksi air PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I. Suatu proses dikatakan kapabel ketika keseluruhan produk yang dihasilkan berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses secara multivariat adalah MP_p dengan persamaan (2.24) dan MP_{pk} pada persamaan (2.25), sedangkan secara univariat menggunakan nilai indeks P_p pada persamaan (2.22) dan P_{pk} pada persamaan (2.23). Hal tersebut disebabkan oleh proses yang tidak dalam kondisi yang terkendali secara statistik. Indeks P_p digunakan untuk mengukur presisi sedangkan P_{pk} digunakan untuk mengukur akurasi. Berikut merupakan perhitungan kapabilitas proses untuk setiap karakteristik kualitas air produksi pada masing-masing musim kemarau dan musim penghujan. Perhitungan kapabilitas proses secara univariat menggunakan *software* Minitab dengan hasil pada Lampiran 5.

Tabel 4.6 Perhitungan Analisis Kapabilitas Univariat P_p dan P_{pk}

Variabel	Musim	P_p	P_{pk}
Turbidity	Kemarau	3,36	1,18
	Penghujan	3,37	1,05
Zat Organik	Kemarau	0,83	0,43
	Penghujan	0,70	0,25
Sisa Chlor	Kemarau	0,50	0,47
	Penghujan	0,58	0,24

Pada Tabel 4.5 mengenai perhitungan analisis kapabilitas didapatkan nilai P_p dan P_{pk} dari setiap karakteristik kualitas pada masing-masing musim. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa secara univariat variabel *turbidity* memiliki tingkat presisi yang baik karena memiliki nilai $P_p > 1,33$ pada musim kemarau dan penghujan, sedangkan variabel zat organik dan sisa

Chlor dapat dikatakan memiliki tingkat presisi yang kurang baik karena memiliki nilai P_p < 1,33. Jika dilihat berdasarkan nilai P_{pk} dapat disimpulkan bahwa ketiga karakteristik kualitas memiliki akurasi yang kurang baik karena memiliki nilai P_{pk} < 1,33.

Setelah menghitung kapabilitas proses secara univariat maka selanjutnya adalah menghitung kapabilitas proses secara multivariat dengan memberikan bobot 0,333 pada masing-masing karena ketiga variabel berkontribusi sama. Berikut merupakan hasil perhitungan kapabilitas proses secara multivariat menggunakan MP_p yang menunjukkan tingkat akurasi dan MP_{pk} yang menunjukkan tingkat akurasi secara multivariat. Tabel 4.6 merupakan hasil perhitungan kapabilitas proses secara multivariat.

Tabel 4.7 Perhitungan Analisis Kapabilitas Multivariat MP_p dan MP_{pk}

Musim	MP_p	MP_{pk}
Kemarau	1,56	0,69
Penghujan	1,54	0,51

Berdasarkan hasil perhitungan kapabilitas proses secara multivariat pada Tabel 4.6 didapatkan informasi bahwa pada musim kemarau dan penghujan memiliki nilai MP_p > 1,33 yang artinya proses produksi air di IPAM Ngagel I memiliki presisi baik. Hal tersebut berkebalikan dengan hasil perhitungan MP_{pk} di musim kemarau dan penghujan yang memiliki nilai kurang dari 1,33 yang artinya akurasi pada proses produksi air di IPAM Ngagel I kurang baik. Kesimpulan yang dapat diambil adalah secara multivariat proses produksi air di IPAM Ngagel I telah mencapai tingkat presisi yang diinginkan namun memiliki akurasi yang rendah sehingga kinerja proses produksi air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I dikatakan tidak kapabel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pada *monitoring* kualitas air di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I menggunakan grafik kendali *MEC1* menunjukkan bahwa proses produksi air tidak terkendali secara statistik di musim kemarau maupun musim hujan. Variabel penyebab *out of control* terbanyak pada musim hujan dan kemarau adalah variabel zat organik.
2. Penggunaan grafik kendali *MEC2* pada *monitoring* kualitas air di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I menunjukkan bahwa proses produksi air produksi tidak terkendali secara statistik dengan penyebab *out of control* terbanyak pada musim kemarau dan penghujan adalah zat organik.
3. Pada perbandingan grafik kendali *MEC1* dan *MEC2* dikatakan bahwa *monitoring* kualitas pada grafik kendali *MEC1* lebih sensitif daripada grafik kendali *MEC2*, karena grafik kendali *MEC1* memiliki jumlah pengamatan *out of control* lebih banyak dari *MEC2*.
4. Berdasarkan nilai P_p dan P_{pk} pada analisis kapabilitas proses secara univariat hanya variabel *turbidity* pada proses produksi air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I memiliki presisi dan akurasi yang baik, namun pada variabel zat organik dan sisa *Chlor* memiliki presisi kurang baik dengan akurasi yang baik. Pada analisis kapabilitas proses berdasarkan nilai MP_p dan MP_{pk} secara multivariat didapatkan hasil bahwa proses produksi air produksi di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I memiliki presisi yang baik namun akurasinya kurang baik, sehingga secara multivariat proses produksi air produksi di di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I dapat dikatakan tidak kapabel.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, saran yang bisa diberikan pada PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I adalah dapat mengevaluasi proses produksi air produksi terutama

pada proses *monitoring* variabel zat organik pada air karena variabel zat organik merupakan variabel penyebab *out of control* terbanyak. Selain itu perusahaan juga diharapkan untuk lebih memperhatikan filter yang bermasalah dalam beberapa waktu. Selanjutnya, saran untuk peneliti selanjutnya adalah untuk mengetahui metode yang sesuai untuk data karakteristik air produksi di di PDAM Surya Sembada Surabaya IPAM Ngagel I karena pada penelitian ini data yang digunakan tidak mengikuti persebaran distribusi normal multivariat sehingga memungkinkan terjadinya perbedaan hasil dengan pengusul grafik kendali meskipun grafik kendali *MEC* ini bersifat *robust* terhadap distribusi nonnormal.

DAFTAR PUSTAKA

Abbas, N., Riaz, M., & Does, R. M. (2012). Mixed Exponentially Weighted Moving Average-Cumulative Sum Charts for Process *Monitoring. Quality and Reliability Engineering International*, 345-356.

Ajadi, J. O., & Riaz, M. (2016). Mixed Multivariate Ewma-Cusum Control Charts for an Improved Process *Monitoring. Communications in Statistics - Theory and Mathods*, 1-37.

Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2018). *Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum.* Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia.

Bhaskoro, R. G., & Ramadhan, T. (2018). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang I PDAM Surya Sembada Surabaya. *Jurnal Presiptasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan Vol. 15*, 62-68.

Hawkins, D., & Maboudou-Tchao, E. (2008). Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix. *Technometrics*, 55-166.

Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Principles of Operation Management.* New York: Pearson Education Limited.

Indarsih, W., Suprayogi, S., & Widyastuti, M. (2011). Kajian Kualitas Air Sungai Bedog Akibat Pembuangan Limbah Cair Sentra Industri Batik Desa Wijirejo. *Majalah Geografi Indonesia Vol. 25, No. 1, Maret 2011*, 40-54.

Johnson, R. A., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariate Statistical Aanalysis.* United States of America: Prentince Hall.

Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control.* New York: John Wiley Sons.

Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Methods.* Forth Edition ed. USA: McGraw-Hill, Inc.

Parera, M. J., Supit, W., & Rumampuk, J. F. (2013). Analisis Perbedaan Pada Uji Kualitas Air Sumur di Kelurahan Madidir Ure Kota Bitung Berdasarkan Parameter Fisika. *Jurnal e-Biomedik Vol. 1*, 466-472.

PDAM Surya Sembada Surabaya. (2012). *Visi dan Misi PDAM Surya Sembada Surabaya*. Diambil kembali dari https://www.pdam-sby.go.id/page.php?get=visi-misi&bhs=1

Said, N. I. (2007). Disinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia Vol. 3*, 15-28.

Setiawan, A. (2018). Recovery Koagulan Dari Sludge WWTP Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sebagai Alternatif Pengolahan Air Limbah Secara Kimia. *Jurnal Riset Teknologi Industri Vol. 12*, 126-138.

Soeyanto, E., & Arifiyana. (2018). Dinamika Proses Sedimentasi di Perairan Muara Sungai Riko, Teluk Balikpapan. *Oseanologi dan Limnologi Di Indonesia Vol. 3*, 63-72.

Sumantri, B., & Parwiyanto, H. (2017). Kualitas Pelayanan Perusahan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Sragen. *Jurnal Wacana Publik Vol. 1 No. 1 Tahun 2017*, 11-24.

Suseno, N. V., & Widyastuti, M. (2017). Analisis Kualitas Air PDAM Tirta Manggar Kota Balikpapan. *Jurnal Bumi Indonesia Vol. 6 No. 1 Tahun 2017*, 1-8.

Taufieq, N. S. (2009). Analisis Tingkat Kekeruhan Air Das Jeneberang Sebagai Sumber Air Baku Pam Somba Opu. *Jurnal Chemica Vol. 10*, 44-49.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Karakteristik Kualitas Air Produksi

Musim Kemarau				**Musim Penghujan**			
Penga-matan ke-	***Turbi-dity***	**Zat Or-ganik**	**Sisa Chlor**	**Penga-matan ke-**	***Turbi-dity***	**Zat Or-ganik**	**Sisa Chlor**
1	1.47	5.35	0.5	1	0.68	7.43	0.8
2	0.5	3.42	1	2	1.1	8.79	1.03
3	0.76	6.39	0.2	3	0.89	9.09	0.92
4	0.67	6.24	0.5	4	1.04	11.22	0.4
5	0.97	8.77	0.5	5	1.14	10.31	0.14
6	0.57	5.1	0.5	6	1.09	11.97	0.38
7	0.58	4.86	0.5	7	1.22	10.61	0.5
8	0.82	6.39	0.2	8	0.94	10.46	0.5
9	0.36	6.84	0.1	9	1.04	5.45	0.7
10	1.11	5.2	0.1	10	0.68	7.88	0.71
11	1.7	6.99	0.1	11	0.98	8.18	0.71
12	1	8.62	0.1	12.	0.87	9.85	0.23
13	0.84	7.43	0.6	13	1.45	9.09	0.7
14	0.88	7.14	0.3	14	1.17	10.15	0.8
15	0.59	6.99	0.6	15	0.78	7.43	1
16	0.54	6.54	0.7	16	1.22	7.88	0.61
17	0.71	8.33	0.4	17	0.83	9.7	0.33
18	0.56	5.5	0.1	18	0.9	8.34	0.8
19	0.81	8.03	0	19	1.32	8.99	1.2
20	1.06	7.14	0.7	20	0.99	10.91	0.54
21	0.86	6.39	0.8	21	0.74	8.64	0.9
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
224	0.72	4.46	1	122	1.02	12.86	0.4

Lampiran 2. Hasil *Output* Statistika Deskriptif Menggunakan *Software* Minitab

Descriptive Statistics: Turbidity_kemarau, Zat ... au, Sisa Chlor_kemarau

Statistics

Variable	Mean	Variance	Minimum	Maximum
Turbidity_kemarau	0.8758	0.0615	0.3200	2.8000
Zat Organik_kemarau	7.435	4.019	3.180	14.700
Sisa Chlor_kemarau	0.5310	0.1129	0.0000	1.8600

Descriptive Statistics: Turbidity_hujan, Zat ... ik_hujan, Sisa Chlor_hujan

Statistics

Variable	Mean	Variance	Minimum	Maximum
Turbidity_hujan	0.7831	0.0613	0.2700	1.4500
Zat Organik_hujan	8.223	5.695	2.740	13.810
Sisa Chlor_hujan	0.7879	0.0833	0.1400	1.4800

Lampiran 3. *Syntax* dan Hasil Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal Multivariat Menggunakan *Software* R

```
> #UJI NORMALITAS
> library(mvnormtest)
> library(readxl)
> Kemarau <- read_excel("E:/ITS/AKADEMIK/TUGAS AKHIR/Tugas Akhir Nisfi Hemas Diga Asmara/
Hasil BAB 4 -5/Normal Multivar.xlsx",
+                       sheet = "Kemarau")
> X=t(Kemarau)
> mshapiro.test(X)

        Shapiro-Wilk normality test

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

> Hujan <- read_excel("E:/ITS/AKADEMIK/TUGAS AKHIR/Tugas Akhir Nisfi Hemas Diga Asmara/Ha
sil BAB 4 -5/Normal Multivar.xlsx",
+                       sheet = "Penghujan")
> Y=t(Hujan)
> mshapiro.test(Y)

        Shapiro-Wilk normality test

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

Lampiran 4. Hasil Pengujian Asumsi Dependensi *KMO and Bartlett's Test* Menggunakan *Software* SPSS

Data Musim Kemarau

KMO and Bartlett's Test

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

Data Musim Penghujan

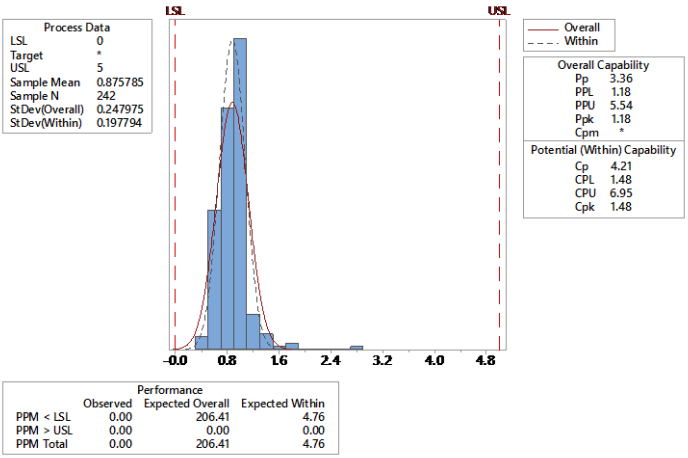
KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.608
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	26.597
	df	3
	Sig.	.000

Lampiran 5. Kapabilitas Proses

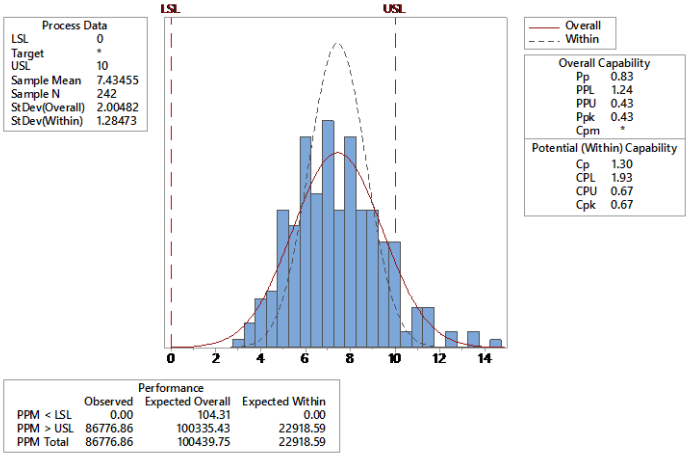
1. *Turbidity* Musim Kemarau

Process Capability Report for Turbidity_Kemarau



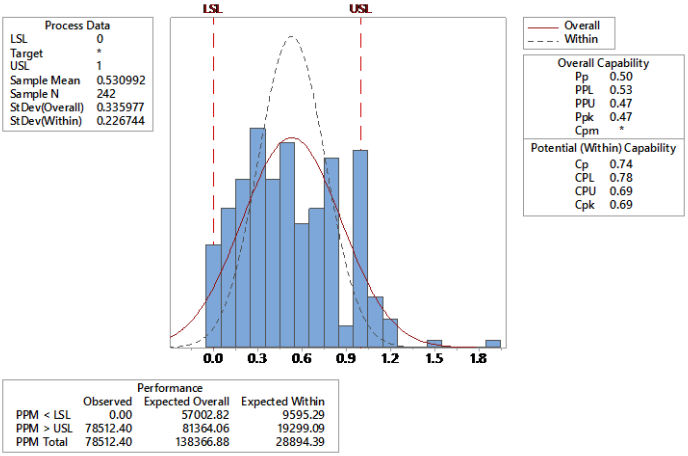
2. Zat Organik Musim Kemarau

Process Capability Report for Organik_Kemarau



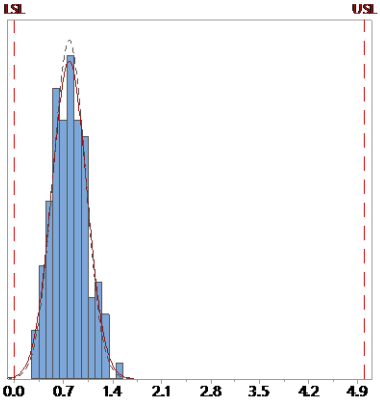
3. Sisa *Chlor* Musim Kemarau

Process Capability Report for SC_Kemarau



4. *Turbidity* Musim Penghujan

Process Capability Report for Turbidity_Penghujan



Process Data	
LSL	0
Target	*
USL	5
Sample Mean	0.783115
Sample N	122
StDev(Overall)	0.247534
StDev(Within)	0.232328

Overall
Within

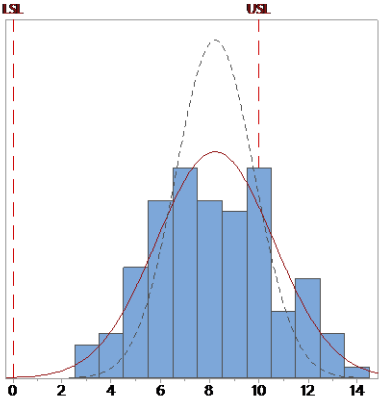
Overall Capability	
Pp	3.37
PPL	1.05
PPU	5.68
Ppk	1.05
Cpm	*

Potential (Within) Capability	
Cp	3.59
CPL	1.12
CPU	6.05
Cpk	1.12

Performance	Observed	Expected Overall	Expected Within
PPM < LSL	0.00	778.96	374.85
PPM > USL	0.00	0.00	0.00
PPM Total	0.00	778.96	374.85

5. Zat Organik Musim Penghujan

Process Capability Report for Organik_Penghujan



Process Data	
LSL	0
Target	*
USL	10
Sample Mean	8.22254
Sample N	122
StDev(Overall)	2.38635
StDev(Within)	1.59758

Overall
Within

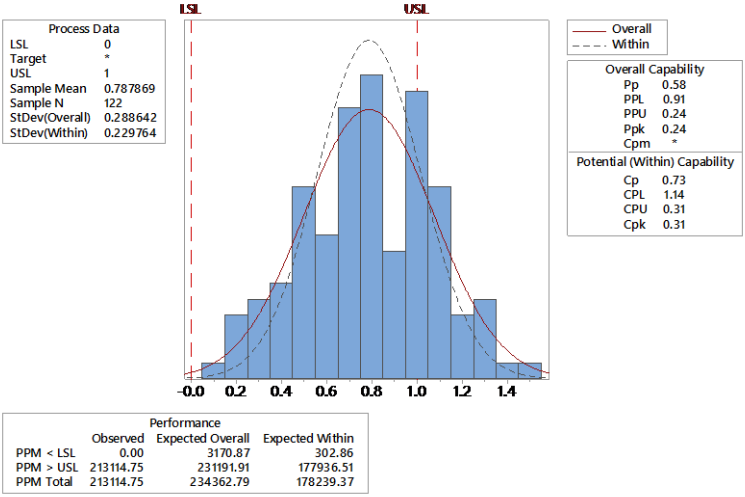
Overall Capability	
Pp	0.70
PPL	1.15
PPU	0.25
Ppk	0.25
Cpm	*

Potential (Within) Capability	
Cp	1.04
CPL	1.72
CPU	0.37
Cpk	0.37

Performance	Observed	Expected Overall	Expected Within
PPM < LSL	0.00	284.84	0.13
PPM > USL	229508.20	228183.16	132940.73
PPM Total	229508.20	228468.00	132940.86

6. Sisa *Chlor* Musim Penghujan

Process Capability Report for SC_Penghujan



Lampiran 6. Hasil Perhitungan Grafik Kendali *MEC1*

Musim Kemarau

Pengamatan ke-	Nilai Pembobot		
	0.1	**0.2**	**0.3**
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.039	11.311
12	0.000	1.233	12.548
13	0.000	2.023	17.993
14	0.000	2.523	20.705
15	0.000	0.000	11.173
16	0.000	0.000	2.939
17	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
224	110.889	73.053	80.167

Musim Penghujan

Pengamatan ke-	Nilai Pembobot		
	0.1	**0.2**	**0.3**
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.001
6	0.000	0.000	0.006
7	0.000	0.001	0.025
8	0.000	0.002	0.181
9	0.000	0.000	0.193
10	0.000	0.000	0.185
11	0.000	0.000	0.175
12	0.000	0.000	0.211
13	0.000	0.003	0.265
14	0.000	0.015	0.380
15	0.000	0.025	0.429
16	0.000	0.031	0.444
17	0.000	0.051	0.519
18	0.000	0.070	0.575
19	0.000	0.098	0.653
20	0.000	0.170	0.868
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
122	0.004	0.003	0.003

Lampiran 7. Hasil Perhitungan Grafik Kendali *MEC2*

Musim Kemarau

Pengamatan ke-	Nilai Pembobot		
	0.1	**0.2**	**0.3**
1	2.883	2.400	5.974
2	3.696	4.432	10.576
3	4.788	6.105	13.864
4	6.120	7.461	16.092
5	7.271	8.345	16.550
6	8.348	9.160	17.236
7	9.362	9.931	18.143
8	10.293	10.574	18.761
9	10.174	11.247	19.737
10	10.922	11.814	20.481
11	10.574	12.042	19.953
12	11.064	12.133	19.093
13	11.487	12.106	17.888
14	11.867	12.054	16.789
15	12.214	11.986	15.664
16	12.534	11.911	14.547
17	12.813	11.769	13.211
18	13.117	11.838	13.014
19	13.401	11.911	12.873
20	13.618	11.789	11.788
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
224	6.244	13.194	5.158

Musim Penghujan

Pengamatan ke-	Nilai Pembobot		
	0.1	**0.2**	**0.3**
1	7.220	14.744	11.249
2	13.436	21.269	12.192
3	10.893	12.628	3.490
4	8.695	5.944	0.000
5	6.851	1.267	0.998
6	5.120	0.000	1.881
7	3.336	2.048	2.788
8	1.726	3.719	3.594
9	0.363	5.125	4.039
10	0.000	5.995	3.790
11	2.038	6.523	3.384
12	3.990	7.566	3.679
13	5.603	8.475	4.267
14	6.876	8.954	4.568
15	7.889	8.674	3.844
16	8.819	8.942	3.875
17	9.762	9.537	4.079
18	10.536	9.722	3.775
19	10.937	9.462	3.338
20	11.265	9.418	3.161
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
122	11.987	9.567	2.699

Lampiran 8. Hasil *Output* Identifikasi *OOC* Menggunakan Grafik Kendali *MEC1*

Musim Kemarau

Pengamatan ke-	Kombinasi Variabel		
	TB-ZO	TB-SC	ZO-SC
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.012	0.000
7	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000
11	0.322	0.024	0.000
12	1.052	0.081	0.000
13	1.517	0.113	0.000
14	1.739	0.125	0.000
15	0.890	0.058	0.000
16	0.052	0.001	0.000
17	0.000	0.000	0.000
18	0.000	0.000	0.000
19	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
224	119.806	71.252	100.937

Musim Penghujan

Pengamatan ke-	Kombinasi Variabel		
	TB-ZO	TB-SC	ZO-SC
1	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.009	0.000
5	0.001	0.005	0.000
6	0.019	0.034	0.011
7	0.129	0.144	0.055
8	0.305	0.293	0.144
9	0.600	0.498	0.143
10	0.773	0.571	0.124
11	1.036	0.676	0.102
12	1.244	0.777	0.116
13	2.072	1.222	0.135
14	3.204	1.822	0.186
15	4.098	2.169	0.187
16	5.591	2.791	0.167
17	6.663	3.242	0.184
18	7.630	3.580	0.186
19	9.571	3.666	0.180
20	11.260	5.035	0.264
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
122	0.000	5.324	27.500

Lampiran 9. Hasil *Output* Identifikasi *OOC* Menggunakan Grafik Kendali *MEC2*

Musim Kemarau

Penga-matan ke-	Kombinasi Variabel		
	TB -ZO	TB-SC	ZO-SC
1	3.268	0.965	1.086
2	6.362	1.834	2.082
3	9.143	2.627	2.989
4	11.664	3.347	3.804
5	13.802	3.962	4.496
6	15.806	4.535	5.135
7	17.696	5.069	5.731
8	19.380	5.552	6.276
9	20.959	6.053	6.774
10	22.344	6.476	7.256
11	23.369	6.756	7.694
12	24.164	6.996	8.070
13	24.823	7.193	8.384
14	25.362	7.363	8.661
15	25.855	7.527	8.893
16	26.333	7.684	9.086
17	26.697	7.832	9.231
18	27.093	8.008	9.392
19	27.376	8.185	9.533
20	27.540	8.291	9.635
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
224	9.224	1.370	8.947

Musim Penghujan

Penga-matan ke-	Kombinasi Variabel		
	TB-ZO	TB-SC	ZO-SC
1	3.110	3.784	1.474
2	5.755	6.700	2.595
3	8.022	9.308	3.632
4	9.854	11.606	4.541
5	11.297	13.665	5.372
6	12.354	15.470	6.092
7	13.075	16.976	6.718
8	13.559	18.308	7.262
9	13.957	19.397	7.775
10	14.285	20.374	8.227
11	14.476	21.158	8.622
12	14.518	21.945	8.993
13	14.333	22.428	9.305
14	13.972	22.695	9.542
15	13.614	22.817	9.721
16	13.167	22.806	9.884
17	12.653	22.874	10.040
18	12.109	22.847	10.156
19	11.454	22.498	10.188
20	10.688	22.158	10.191
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
122	3.521	0.412	3.089

Lampiran 10. *UCL* Grafik Kendali *MEC1*

	$\lambda = 0.10$	$\lambda = 0.25$	$\lambda = 0.50$	$\lambda = 0.75$
	$h_6 = 1.81$	$h_6 = 6.25$	$h_6 = 6.50$	$h_6 = 5.65$
δ	k1 = 2.18	k1 = 1.32	k1 = 0.87	k1 = 0.65
0.00	201.29	200.56	203.30	202.04
0.25	75.07	85.63	91.42	92.73
0.50	27.81	30.39	31.98	31.97
0.75	15.31	15.39	15.35	15.17
1.00	10.56	10.18	9.71	9.46
1.25	8.18	7.77	7.16	6.87
1.50	6.73	6.40	5.74	5.39
1.75	5.80	5.56	4.89	4.54
2.00	5.10	4.92	4.27	3.90

Lampiran 11. *UCL* Grafik Kendali *MEC2*

	p = 2	p = 3	p = 4
δ	$h_6 = 6.25$	$h_6 = 8.21$	$h_6 = 9.91$
0.00	200.56	198.02	201.61
0.25	85.63	94.00	102.71
0.50	30.39	33.37	36.96
0.75	15.39	16.89	18.38
1.00	10.18	11.31	12.00
1.25	7.77	8.64	9.24
1.50	6.40	7.10	7.67
1.75	5.56	6.19	6.70
2.00	4.92	5.52	5.94

Lampiran 12. Surat Izin Penelitian

PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM
SURYA SEMBADA
KOTA SURABAYA

Surabaya, 05 MAR 2020

Nomor : 072/ 262 /PDAM/2019
Lampiran : -
Hal : **Konfirmasi Izin Penelitian.**

Kepala Departemen
Fakultas Sains Dan Teknologi Surabaya
Jl.Kampus ITS, Surabaya

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

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

Demikian atas perhatiannya disampaikan terima kasih.

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

PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM SURYA SEMBADA KOTA SURABAYA

Drs. BAMBANG EKO SAKTI.
NIP. 1.92.00780

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

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

Kantor :
Jl. Mayjen. Prof. Dr. Moestopo No. 2, Telp. 031-5039373, 5039676, Fax 031-5030100, Surabaya 60131
Website : www.pdam-sby.go.id Call Center : 0800 192 6666 (bebas pulsa) Layanan SMS/WA : 081.2331-6666
ISO 9001 : 2015
ISO/IEC 17025 : 2017

Lampiran 13. Surat Keterangan Publikasi

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FSAD-ITS dengan identitas berikut :

   Nama : Nisfi Hemas Diga Asmara

   NRP : 06211640000126

   Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

   Nama Instansi : PDAM Surya Sembada Kota Surabaya

   Divisi/ bagian : Bagian Produksi Ngagel; Bagian Pengendalian Operasi

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

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan disimpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.

3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 5 Juni 2020
Manajer Pengendalian Operasi

Palupi Wikandari, S.T.
NIP. 1.06.01366

*(coret yang tidak perlu)

Lampiran 14. Dokumentasi di IPAM Ngagel I

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Nisfi Hemas Diga Asmara lahir di Pasuruan, 1 September 1997. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Pariyanto dan Indah Pujiastutik. Pendidikan formal yang telah diselesaikan adalah pendidikan di TK PKK 8 Kepulungan Gempol, SDN Kepulungan 3 Gempol (2004-2010), SMPN 2 Pandaan (2010-2013) dan SMAN 1 Sidoarjo Surabaya (2013-2016). Setelah lulus SMA penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 06211640000126. Organisasi yang pernah diikuti penulis selama kuliah yaitu sebagai Staf Departemen Dalam Negeri HIMASTA-ITS periode 2017/-2018, Staf *Training Development* Divisi *Statistics Computer Course* HIMASTA-ITS periode 2017/2018, Wakil Supervisor Divisi *Professional Statistics* HIMASTA-ITS periode 2018/2019. Selain itu, penulis pernah aktif menjadi panitia selama kuliah yaitu menjadi Sie Kestari GERIGI ITS 2017, Pemandu Integralistik GERIGI ITS 2018, Sie Acara *sub event* tingkat internasional *Data Analysis Competition* Pekan Raya Statistika 2018, dan juga bergabung dalam seni Tari Saman *Samantistics*. Pengalaman lainnya yang dialami penulis selain mengikuti kegiatan kampus adalah menjadi Surveyor Jawa Pos Metropolis dalam "Survei Perilaku di Jalan Raya" tahun 2019, dan menjalani program *internship* selama satu bulan di Divisi Meteorologi TNI Angkatan Udara Lanud Abdulrachman Saleh Malang. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat dihubungi melalui email: nisfihda@gmail.com.