

Penerapan Diagram Kontrol Mewma dan Mewmv Pada Pengendalian Kualitas Air Produksi Di Ipam Ngagel I

Johana Diannita Jayanti dan Wibawati
Jurusan Statistika, FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: Wibawati@statistika.its.ac.id

Abstrak—Air merupakan salah satu unsur kehidupan bagi makhluk hidup. IPAM Ngagel I merupakan instalasi penjernihan air pertama yang dimiliki oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dengan kapasitas produksi 1800 lt/detik. Pengujian terhadap kualitas air diukur secara univariat, pada kenyataannya, parameter yang di digunakan dalam proses pengolahan air ternyata memiliki hubungan antar parameternya, oleh karena itu penelitian ini mengusulkan untuk menggunakan diagram kontrol multivariat. Diagram kontrol multivariat yang diusulkan dalam penelitian ini adalah diagram kontrol MEWMA dan MEWMV. Data karakteristik kualitas yang digunakan adalah kekeruhan, sisa chlor, zat organik ($KMNO_4$), dan pH. Penentuan batas kendali diagram kontrol MEWMV melibatkan λ , ω dan L untuk 4 karakteristik kualitas belum tersedia maka dilakukan analisis faktor untuk mereduksi jumlah variabel dan mengetahui karakteristik yang paling penting berdasarkan komponen utama yang terbentuk. Berdasarkan hasil faktor analisis diketahui yang termasuk dalam komponen utama adalah pH, zat organik ($KMNO_4$), dan sisa chlor. dengan menggunakan diagram kontrol MEWMV didapatkan hasil bahwa variabilitas proses telah terkendali pada fase I dengan $\lambda=0,1$, $\omega=0,3$ dan $L=3,6484$ begitupun pada fase II, hasil diagram kontrol MEWMA diketahui bahwa *mean* proses telah terkendali pada fase I dan diagram kontrol MEWMA yang paling sensitif menggunakan $\lambda=0,6$ begitupun pada fase II. Hasil perhitungan kapabilitas diketahui bahwa pada fase I proses belum kapabel, sedangkan pada fase II telah kapabel.

Kata Kunci—Air, Analisis Faktor, IPAM Ngagel I, MEWMA, MEWMV.

I. PENDAHULUAN

AIR merupakan salah satu unsur kehidupan yang memiliki peranan penting dalam kehidupan makhluk hidup. Air yang aman, bersih, sehat, dan tidak tercemar mutlak diperlukan untuk menjaga kelangsungan kesehatan bagi masyarakat umum yang mengkonsumsi air tersebut.

IPAM Ngagel I merupakan instalasi penjernihan air pertama yang dimiliki oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang saat ini mempunyai kapasitas produksi 1800 lt/detik. Proses pengolahan air di IPAM Ngagel I adalah proses pengolahan air baku yang berasal dari sungai Surabaya dengan kualitas yang dapat berubah ubah setiap waktu karena beberapa faktor misalnya cuaca, limbah industri, dan limbah domestik.

IPAM Ngagel I memiliki berbagai parameter yang digunakan sebagai penentu kualitas air, akan tetapi setiap hari pihak

laboratorium melakukan monitoring terhadap 4 parameter karena diwaspadai dari pencemaran air yang terjadi. Parameter tersebut adalah kekeruhan (*turbidity*), sisa chlor, zat organik ($KMNO_4$), dan pH. Sistem pengendalian kualitas yang selama ini dilakukan berdasarkan pada batas spesifikasi yang ditetapkan perusahaan yang mengacu pada Pemenkes Nomor 492 Tahun 2010 untuk parameter kekeruhan, zat organik ($KMNO_4$), dan pH, sedangkan untuk parameter sisa chlor mengacu pada Pemenkes Nomor 736 Tahun 2010.

Pada kenyataannya keempat parameter tersebut saling berhubungan. Nilai konsentrasi chlor meningkat sejalan dengan kenaikan pH, sementara jika kekeruhan akan menaikkan kebutuhan chlor. Zat organik meningkatkan *turbidity* [1] dan [2] Karena diketahui didalam pengujian terhadap karakteristik kualitas air dilihat berdasarkan lebih dari satu variabel dan antar variabel memiliki hubungan, maka penelitian ini mengusulkan menggunakan diagram kontrol multivariat.

Salah satu diagram kontrol untuk mendeteksi pergeseran *mean* vektor adalah *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) selain itu diagram kontrol MEWMA mengakumulasi informasi yang didapatkan dari masa lampau, sehingga membuat diagram kontrol MEWMA lebih sensitif untuk mendeteksi pergeseran *mean* yang lebih kecil serta lebih *robust* terhadap distribusi normal untuk pengamatan individual [3]. Sedangkan, salah satu diagram kontrol yang dipergunakan untuk mendeteksi pergeseran variansi proses adalah *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV). Oleh karena itu untuk mengendalikan proses produksi air di IPAM Ngagel I digunakan diagram kontrol MEWMA dan MEWMV. Sebelumnya [4] telah melakukan penelitian pendahuluan yaitu berupa kerja praktek di IPAM Ngagel I dengan menggunakan diagram kontrol T^2 Hotelling dan didapatkan hasil proses telah terkendali secara statistik

Penentuan batas kendali MEWMV melibatkan nilai pembobot (λ), *smoothing constant* (ω) dan *width of control limit* (L), yang tergantung dari banyaknya karakteristik kualitas yang diamati. Sementara ini, nilai L yang tersedia adalah untuk 2 dan 3 karakteristik kualitas. Sedangkan dalam penelitian ini melibatkan 4 karakteristik kualitas, oleh karena itu maka dilakukan analisis faktor untuk mereduksi jumlah variabel dan untuk mengetahui karakteristik kualitas yang paling dominan yang terbentuk berdasarkan komponen utama. Berdasarkan karakteristik kualitas yang terbentuk dari komponen utama akan dilakukan pengontrolan terhadap karakteristik kualitas air

produksi IPAM Ngagel I menggunakan penerapan secara ilmu statistik yaitu menggunakan diagram kontrol kontrol MEWMA dan MEWMV pada fase I dan fase II. Dengan hasil penelitian yang diperoleh nantinya diharapkan penelitian ini dapat memberikan masukan atau usulan kepada pihak perusahaan mengenai alat kontrol baru.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif merupakan metode untuk merangkum sekumpulan data, rangkuman ini biasanya berbentuk grafik dan kumpulan angka seperti nilai rata rata nilai maximum, nilai minimum dan variansi [5].

B. Barlett's Test

Bartlett's Test of Sphericity digunakan untuk menguji apakah matrik korelasi sama dengan matrik identitas atau tidak [6].

C. Analisis Faktor

Analisis faktor berfungsi menerangkan variasi dari sejumlah variabel asal dengan menggunakan faktor yang lebih sedikit dengan anggapan bahwa variabel asal dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari faktor-faktor tersebut ditambahkan dengan suku residual [7]).

D. Diagram Kontrol MEWMV

Andaikan $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$ vektor random yang merepresentasikan p karakteristik kualitas yang saling berhubungan dari proses yang diamati, maka diasumsikan bahwa distribusi \mathbf{x} adalah $N \sim (\mu_u, \Sigma_u)$ sebuah p dimensional distribusi normal dengan *mean* vektor μ_u dan matriks kovarian Σ_u . ketika proses dalam keadaan *in control* maka diasumsikan $\mu_u = \mu_0$ dan $\Sigma_u = \Sigma_0$ dimana μ_0 dan Σ_0 diketahui dari estimasi akhir proses kontrol fase I Tracy(1992) dalam [8]. Oleh karena itu salah satu pendekatan untuk transformasi \mathbf{x} adalah $\mathbf{x} = \Sigma_0^{-1/2}(x - \mu_0)$ secara umum \mathbf{x}

berdistribusi $N \sim (\mu, \Sigma)$ dimana $\mu = \Sigma_0^{-1/2}(\mu_0 - \mu_u)$ dan $\Sigma = \Sigma_0^{-1/2} \Sigma_u \Sigma_0^{-1/2}$ sehingga ketika proses dalam keadaan terkontrol \mathbf{x} berdistribusi $N \sim (0, I_p)$ diagram kontrol MEWMV dibentuk dari persamaan :

$$\mathbf{V}_t = \omega(x_t - y_t)(x_t - y_t)^T + (1 - \omega)\mathbf{V}_{t-1} \tag{1}$$

dimana:

ω merupakan *smoothing constant*, $0 < \omega < 1$

$$\mathbf{V}_0 = (x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T$$

dan

$$Y_t = \lambda x_t - (1 - \lambda)Y_{t-1} \tag{2}$$

Y_t merupakan estimasi natural untuk proses *mean* pada waktu ke- t yang berasal dari *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* dari yang diberikan oleh Lowry (1992) dalam [8] Dapat ditunjukkan bahwa ketika $t \geq p$, \mathbf{V}_t adalah matriks definit positif dengan probabilitas 1 dan $E(\mathbf{V}_t) \rightarrow$

$2(1 - \lambda)^2 \Sigma / (2 - \lambda)$ untuk $t \rightarrow \infty$. Oleh karena itu, ketika $t \geq p$, $(2 - \lambda)\mathbf{V}_t / [2(1 - \lambda)^2]$ adalah konstan, untuk mendeteksi perubahan dalam matriks kovarians pertama kali harus mendefinisikan

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_t]^T, \mathbf{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_t]^T \text{ dan}$$

$$C = \begin{bmatrix} (1 - \omega)^{t-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega(1 - \omega)^{t-2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega(1 - \omega) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega \end{bmatrix}$$

dari persamaan 1 dan 2 selanjutnya dimiliki

$$\mathbf{V}_t = \sum_{i=1}^t \omega(1 - \omega)^{t-i} (x_i - y_i)(x_i - y_i)^T + (1 - \omega)^t \mathbf{V}_0 \tag{3}$$

$$\mathbf{y}_t = \sum_{i=1}^t \lambda(1 - \lambda)^{t-i} x_i \tag{4}$$

dimana $i = 1, 2, \dots, t$ dan setelah itu didapatkan

$$= \begin{pmatrix} 1 - \lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1 - \lambda)^{t-1} & \dots & -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \mathbf{x}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{x}_t^T \end{pmatrix} = (\mathbf{I}_t - \mathbf{M})\mathbf{X}$$

Dimana \mathbf{I} merupakan matriks identitas ukuran $t \times t$ dan

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \omega & 0 & \dots & 0 \\ \omega(1 - \omega) & \omega & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega(1 - \omega)^{t-1} & \omega(1 - \omega)^{t-2} & \omega(1 - \omega) & \omega \end{bmatrix}$$

Selanjutnya diperoleh

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_t &= (\mathbf{X} - \mathbf{Y})^T \mathbf{C} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) = \mathbf{X}^T (\mathbf{I}_t - \mathbf{M})^T \mathbf{C} (\mathbf{I}_t - \mathbf{M}) \\ &= \mathbf{X}^T (\mathbf{I}_t - \mathbf{M})^T \mathbf{C} (\mathbf{I}_t - \mathbf{M}) \mathbf{X} = \mathbf{X}^T \mathbf{Q} \mathbf{X} \end{aligned} \tag{5}$$

dimana $\mathbf{Q} = (q_{ij}) = (\mathbf{I}_t - \mathbf{M})^T \mathbf{C} (\mathbf{I}_t - \mathbf{M})$, $1 \leq i, j \leq t$.

karena $tr(\mathbf{V}_t) = tr(\mathbf{X}^T \mathbf{Q} \mathbf{X}) = tr(\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}^T)$ dan $\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}^T$ maka

$$= \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t q_{ij} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \tag{6}$$

Catatan yang perlu diperhatikan bahwa ketika $p = 1$, $tr(\mathbf{V}_t)$ akan berkurang seperti bentuk diagram kontrol EWMV dari (MacGregor dan Harris, 1993) dalam [8]. Ketika proses dalam keadaan terkontrol, maka didapatkan

$$\begin{aligned} E[tr(\mathbf{V}_t)] &= \sum_{i=1}^t q_{ii} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2\right) + \sum_{i=1}^t \sum_{i=1, j \neq i}^t q_{ij} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right) = p \sum_{i=1}^t q_{ii} \\ &= p \times tr(\mathbf{Q}) \end{aligned} \tag{7}$$

dimana konvergen untuk $2p(1-\lambda)^2 / (2-\lambda)$ untuk $t \rightarrow \infty$ dan

$$\begin{aligned} \text{Var}[tr(\mathbf{V}_t)] &= \text{Var} \left[\sum_{i=1}^t q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^t \sum_{j<i}^t q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right] \\ &= \sum_{i=1}^t q_{ii}^2 \text{Var} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2 \right) + 4 \sum_{i=1}^t \sum_{j<i}^t q_{ij}^2 \text{Var} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \\ &= 2p \sum_{i=1}^t q_{ii}^2 + 4p \sum_{i=1}^t \sum_{j<i}^t q_{ij}^2 \\ &= 2p \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t q_{ij}^2 \end{aligned} \tag{8}$$

dimana dapat ditunjukkan batasan untuk setiap t . oleh karena itu, batas kontrol dari diagram kontrol berdasarkan $tr(\mathbf{V}_t)$ diberikan oleh

$$\begin{aligned} E[tr(\mathbf{V}_t)] \pm L \sqrt{\text{Var}[tr(\mathbf{V}_t)]} \\ = p \times tr(\mathbf{Q}) \pm L \sqrt{2p \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t q_{ij}^2} \end{aligned} \tag{9}$$

Dimana konstanta L bergantung pada p , ω dan λ dan dapat didapatkan dari simulasi Monte-Carlo untuk didapatkan ARL_0 .

E. Diagram Kontrol MEWMA

Diagram kontrol MEWMA merupakan pengembangan versi multivariat dari proses untuk data univariat EWMA yang didefinisikan sebagai berikut: [9]

$$Z_i = \lambda x_i + (1-\lambda)Z_{i-1} \tag{10}$$

Dimana $0 < \lambda \leq 1$ dan Z_0 adalah 0. Titik pengamatan yang diplotkan dalam diagram kontrol adalah:

$$T_i^2 = Z_i^T \Sigma_Z^{-1} Z_i \tag{11}$$

dimana matriks kovarian adalah:

$$\Sigma_Z = \frac{\lambda}{2-\lambda} \left[1 - (1-\lambda)^{2i} \right] \Sigma \tag{12}$$

bentuk matriks kovarians tersebut analog dengan bentuk EWMA. Diagram kontrol MEWMA *robust* terhadap distribusi normal [9]

F. Kapabilitas Proses

Perhitungan kapabilitas proses secara multivariat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut. [10]

$$MC_P = \sum_{i=1}^p W_i C_P(X_i) \tag{13}$$

$$MC_{PK} = \sum_{i=1}^p W_i C_{PK}(X_i) \tag{14}$$

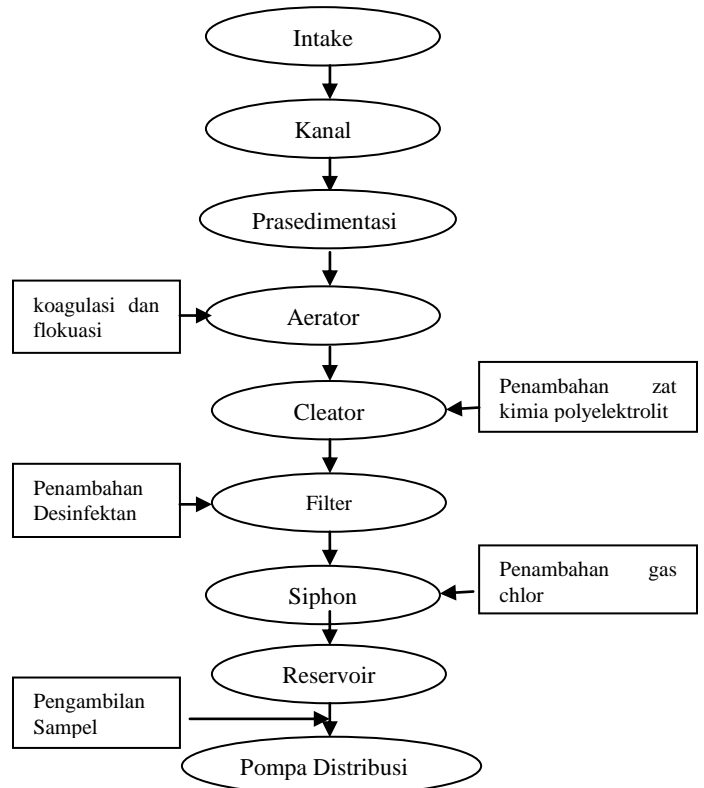
$$MC_{PM} = \sum_{i=1}^p W_i C_{PM}(X_i) \tag{15}$$

Dimana MC_P, MC_{PK}, MC_{PM} berturut-turut merupakan bentuk dari C_P, C_{PK}, C_{PM} dalam keadaan multivariat dan W_i adalah

berat kepentingan. Dengan catatan $\sum_{i=1}^p W_i = 1$

G. Proses Pengolahan Air di IPAM Ngagel I

Tahapan proses produksi air dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar. 1. Proses Pengolahan Air

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang dipergunakan merupakan data sekunder dari Bagian Kualitas di Kantor PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Periode data yang dipergunakan dalam penelitian adalah 1 Januari 2014 hingga 28 Februari 2014

Pengambilan sampel dilakukan oleh Bagian Laboratorium Ngagel, dimana pengambilan sampel dilakukan di aliran pipa yang terdapat di setelah revervoir, dan sebelum di pompa distribusi ke pelanggan, pengambilan sampel air diambil dan diukur pada periode harian. Berikut merupakan struktur data penelitian.

Tabel 1. Struktur Data Pengamatan

Sampel ke- <i>k</i>	Variabel ke - <i>j</i>			
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	<i>X</i> ₄
1	<i>X</i> ₁₁	<i>X</i> ₁₂	<i>X</i> ₁₃	<i>X</i> ₁₄
2	<i>X</i> ₂₁	<i>X</i> ₂₂	<i>X</i> ₂₃	<i>X</i> ₂₄

m X_{m1} X_{m2} X_{m3} X_{m4}

Keterangan:
 j = karakteristik kualitas
 k = banyaknya sampel pengamatan ke - m

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

Tabel 2 Variabel Penelitian

Var	Keterangan	Satuan	Spesifikasi
X_1	Kekeruhan	Ntu	Max 5
X_2	Sisa chlor	Mg/L	0,2 – 1
X_3	pH		6,5 – 8,5
X_4	KMNO ₄	Mg/L	Max 10

C. Langkah Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian adalah sebagai berikut

1. Merumuskan permasalahan menjadi topik penelitian.
2. Melakukan studi literatur.
3. Mengumpulkan data dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.
4. Mendeskripsikan data menggunakan statistik deskriptif
5. Melakukan pengujian korelasi dengan *Bartlett's Test*
6. Melakukan Analisis Faktor
7. Pembuatan diagram kontrol MEWMV sebagai berikut:
 - a. Menghitung nilai $\sum^{-1/2}$ untuk transformasi data x^*
 - b. Membuat matriks X yang berisi vektor matriks x
 - c. Menghitung matriks Y_t dan nilai V_t
 - d. Menghitung BKA dan BKB peta kendali MEWMV
 - e. Membuat plot $tr(V_i)$ BKA dan BKB
 - f. Membuat plot $tr(V_i)$ BKA dan BKB dari berbagai kemungkinan nilai λ , ω dan L
 - g. Melakukan pemilihan nilai λ , ω dan L yang optimum
8. Pembuatan diagram kontrol MEWMA sebagai berikut:
 - a. Menghitung vektor MEWMA, Z_i
 - b. Menghitung matriks varian kovarian berdasarkan Z_i
 - c. Menghitung titik statistik T_i^2 seperti persamaan 11
 - d. Memplot hasil perhitungan T_i^2 pada diagram kontrol.
9. Menghitung kapabilitas proses
10. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Karakteristik Kualitas Air Produksi

Berikut merupakan hasil deskripsi karakteristik kualitas air produksi pada Fase I:

Tabel 3 Deskripsi Fase I

Variabel	Mean	St.Dev	Min	Max
Kekeruhan (Ntu)	1,627	0,447	1,11	2,95
pH	7,174	0,184	6,8	7,4
KMNO ₄ (mg/L)	6,903	1,282	3,67	9,72
Sisa Chlor (mg/L)	0,801	0,726	0	2,5

Hasil deskripsi karakteristik kualitas air produksi pada fase I diketahui kisaran data dari karakteristik kualitas kekeruhan 1,11 Ntu hingga 2,95 Ntu, nilai rata-rata 1,627 Ntu dan sebaran data sebesar 0,447 Ntu. Pada karakteristik kualitas pH kisaran data berada antara 6,8 hingga 7,4, nilai rata-rata 7,174 dan sebaran data sebesar 0,184. Karakteristik kualitas KMNO₄ diketahui kisaran data berada antara 3,67 mg/L hingga 9,72 mg/L, nilai rata-rata sebesar 6,903 mg/L, dan sebaran data sebesar 1,282 mg/L. Untuk karakteristik kualitas sisa chlor diketahui kisaran datanya antara 0 mg/L hingga 2,5 mg/L, nilai rata-rata sebesar 0,801 mg/L, dan sebaran data sebesar 0,726 mg/L. Hasil deskripsi data karakteristik kualitas air produksi pada fase II sebagai berikut

Tabel 4 Deskripsi Fase II

Variabel	Mean	St.Dev	Min	Max
Kekeruhan (Ntu)	1,514	0,582	0,72	3,25
pH	7,253	0,085	7,05	7,39
KMNO ₄ (mg/L)	5,721	0,901	4,02	6,92
Sisa Chlor (mg/L)	1,203	0,389	0,57	2,01

Hasil deskripsi karakteristik kualitas air produksi pada fase II diketahui kisaran data dari karakteristik kualitas kekeruhan 0,72 Ntu hingga 3,25 Ntu, nilai rata-rata 1,514 Ntu dan sebaran data sebesar 0,582 Ntu. Pada karakteristik kualitas pH kisaran data antara 7,05 hingga 7,39, nilai rata-rata 7,253 dan sebaran data sebesar 0,085. Untuk karakteristik kualitas KMNO₄ diketahui kisaran data diantara 4,02 mg/L hingga 6,92 mg/L, nilai rata-rata sebesar 5,721 mg/L, dan sebaran data sebesar 0,901 mg/L. Untuk karakteristik kualitas sisa chlor diketahui kisaran datanya antara 0,57 mg/L hingga 2,01 mg/L, nilai rata-rata sebesar 1,203 mg/L, dan sebaran data sebesar 0,389 mg/L.

B. Pengujian Asumsi Korelasi Karakteristik Kualitas Air Produksi

Hasil pengujian asumsi korelasi multivariat menggunakan *Bartlett's Test* pada fase I didapatkan nilai χ^2 sebesar 18,759 dibandingkan dengan χ^2_{tabel} 12,59 maka hipotesis H_0 ditolak dapat disimpulkan bahwa pada fase I antara karakteristik kualitas kekeruhan, pH, KMNO₄ dan sisa chlor terdapat hubungan atau korelasi secara statistik antar karakteristik kualitas. Sedangkan pada fase II hasil *Bartlett's Test* didapatkan nilai χ^2 sebesar 4,042 dibandingkan dengan χ^2_{tabel} 12,59 maka gagal tolak H_0 dapat disimpulkan bahwa pada fase II hasil pengujian secara statistik tidak terdapat hubungan atau korelasi antar karakteristik kualitas. Namun, merujuk pada beberapa penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya [1] dan [2] maka, penelitian ini pada fase II dianggap terdapat hubungan atau korelasi antar variabel.

C. Analisis Faktor

Hasil analisis faktor yang telah dilakukan sebagai berikut

Tabel 5. Hasil Komponen Utama

Komponen	Nilai Eigen	% Varian	% Kumulatif
1	1,874	46,842	46,842
2	1,127	28,173	75,015
3	0,591	14,773	89,788
4	0,408	10,212	100,00

Hasil analisis komponen utama dapat diketahui nilai eigen yang lebih besar dari 1 terdiri dari 2 komponen, dimana 2

komponen yang terbentuk menjelaskan total keragaman yang ada sebesar 75,015%.

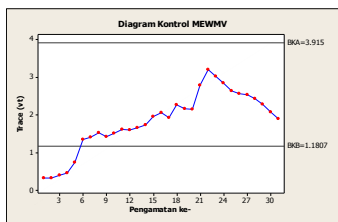
Tabel 6 Nilai Loading Faktor

Komponen	Komponen	
	1	2
Kekeruhan	-0,083	0,926
pH	0,698	-0,400
KMNO ₄	-0,846	-0,125
Sisa Chlor	0,815	0,307

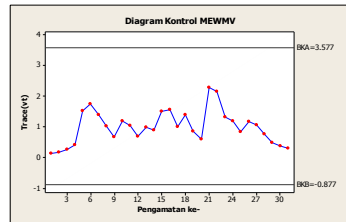
Berdasarkan Tabel 6 diketahui bahwa komponen yang terbentuk didalam komponen 1 dilihat dari karakteristik kualitas yang terdiri dari pH, KMNO₄ dan sisa chlor merupakan parameter kimia sedangkan pada komponen 2 yang didalamnya karakteristik kualitas kekeruhan merupakan parameter fisik. Untuk pembahasan selanjutnya, penerapan diagram kontrol MEWMV dan MEWMA yang digunakan adalah karakteristik kualitas yang terdapat pada komponen 1 yaitu variabel pH, KMNO₄ dan sisa chlor

D. Penerapan Diagram Kontrol MEWMV

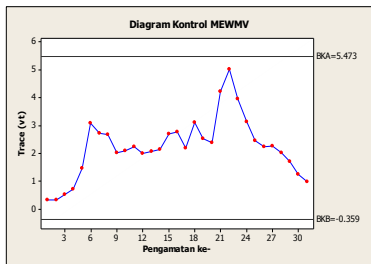
Berikut ditampilkan beberapa hasil diagram kontrol MEWMV:



Gambar 2. MEWMV $\lambda = 0,1 \omega = 0,1$
 $L = 2,7900$
 3,9219



Gambar 3. MEWMV $\lambda = 0,4 \omega = 0,4$
 $L = 3,9219$



Gambar 4. MEWMV $\lambda = 0,1 \omega = 0,3$
 $L = 3,6484$

Pada pengontrolan variansi proses dilakukan dengan nilai pembobot yang berbeda-beda, pada Gambar 2 menggunakan ω

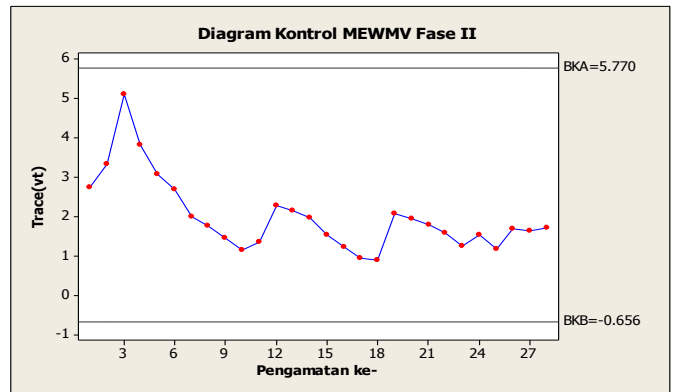
No	λ	H	Nilai Max	Max - BKA
1	0,05	9,41	12,91	3,50
2	0,1	0,81	14,25	3,44
3	0,2	0,90	15,02	4,12
4	0,3	12,35	13,91	1,56
5	0,4	12,58	12,77	0,19
6	0,5	12,71	12,79	0,08
7	0,6	12,79	12,75	-0,04
8	0,8	12,85	11,56	-1,29

= 0,1 dan $\lambda = 0,1$ dan $L = 2,7900$ didapatkan hasil terdapat 5 pengamatan yang *out-of-control* atau proses tidak terkendali secara statistik. Selanjutnya pada Gambar 3 menggunakan $\omega = 0,4$ dan $\lambda = 0,4$ dan $L = 3,9219$ didapatkan hasil yaitu tidak ada pengamatan yang *out-of-control* atau proses telah terkendali.

Kemudian pada Gambar 4 menggunakan $\lambda = 0,1 \omega = 0,3$ dan $L = 3,6484$ juga didapatkan hasil yang sama yaitu tidak ada pengamatan yang *out-of-control* atau proses telah terkendali. Untuk mengetahui diagram kontrol MEWMV yang paling sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses variansi dapat dilihat dari pola titik trace (Vt) yang menyebar secara random dan berdasarkan perhitungan titik trace (Vt) yang paling maximum dikurangi dengan BKA diagram. Berikut merupakan hasil perhitungan Δ :

Tabel 7. Perhitungan Diagram Kontrol MEWMV

No	λ	ω	L	tr (Vt) max	BKA	\Delta
1	0,1	0,1	2,7900	3,196	3,914	0,718
2	0,1	0,2	3,3105	4,286	,726	-1,440
3	0,1	0,3	3,6484	5,034	5,473	-0,439
4	0,1	0,4	3,8984	5,642	6,639	-0,997
5	0,3	0,1	2,7949	1,736	2,665	-0,928
6	0,3	0,2	3,3164	2,321	3,395	-1,704
7	0,1	0,1	3,6602	3,196	3,914	-0,718
8	0,1	0,2	2,7988	4,286	5,726	-1,440
9	0,1	0,3	3,3213	5,034	5,473	-0,439



10 0,1 0,4 3,9219 5,642 3,639 -0,997

Keterangan : $\Delta = \text{tr}(Vt)\text{max} - \text{BKA}$

Untuk melihat adanya pergeseran *mean* proses dari fase I ke fase II maka nilai *mean* dari fase I yang telah terkendali akan digunakan pada fase II dimana pergeseran *mean* vektor fase II sebesar 1σ dari fase I berikut hasil pengontrolan variabilitas fase II

Gambar 5. MEWMV Fase II

Hasil diagram kontrol MEWMV dengan menggunakan $\lambda = 0,1 \omega = 0,3$ dan $L = 3,6484$ pada fase II diketahui menghasilkan perhitungan BKA = 5,770 dan BKB = -0,656 pola plot tr(Vt) yang didapatkan dengan cara perhitungan seperti pada persamaan 1. Dari hasil perhitungan diketahui tidak ada titik pengamatan keluar dari batas kendali (*in control*) maka, dapat disimpulkan bahwa variabilitas proses telah seragam dan terkendali secara statistik.

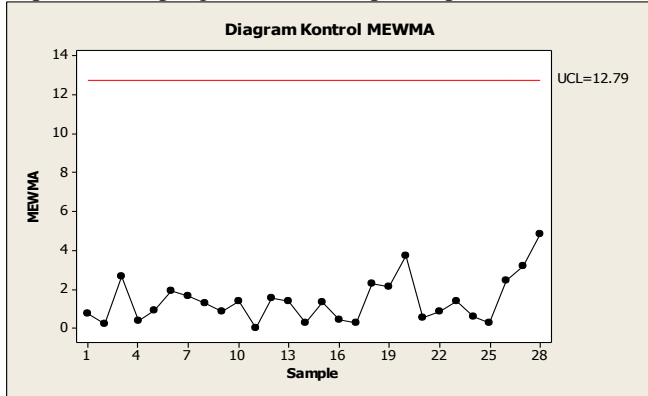
E. Penerapan Diagram Kontrol MEWMA

Berikut merupakan hasil perhitungan diagram kontrol MEWMA pada Fase I

Tabel 8. Perhitungan Diagram Kontrol MEWMA

Berdasarkan hasil perhitungan nilai maksimum dikurangi dengan BKA pada tiap diagram kontrol MEWMA didapatkan hasil bahwa diagram kontrol dengan $\lambda = 0,6$ merupakan yang paling sensitif dan karena diketahui bahwa diagram kontrol MEWMA dengan $\lambda = 0,6$ sudah tidak terdapat pengamatan *out*

of control maka pada fase II akan menggunakan $\lambda = 0,6$ berikut merupakan hasil pengontrolan *mean* proses pada fase II



Gambar 6. MEWMA Fase II

Hasil pengontrolan *mean* proses menggunakan diagram kontrol MEWMA pada $\lambda = 0,6$ dengan BKA = 12,79 didapatkan hasil pola plot T_i^2 tidak terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali atas (*in control*) sehingga dapat disimpulkan bahwa *mean* proses telah terkontrol secara statistik. Setelah diketahui bahwa variabilitas dan *mean* proses dari karakteristik kualitas air produksi telah terkontrol secara statistik maka dilakukan perhitungan kapabilitas proses.

F. Kapabilitas Proses

Hasil perhitungan kapabilitas proses ditampilkan sebagai berikut

Tabel 9 Kapabilitas Proses

	MC _P	MC _{PK}	MC _{PM}
FASE I	1,0974	0,7051	0,5537
FASE II	2,0347	1,5686	1,2114

Berdasarkan perhitungan kapabilitas dapat diketahui bahwa pada fase I produksi air IPAM Ngagel I memiliki nilai presisi yang tinggi, tetapi akurasinya rendah sehingga proses tidak kapabel, dan dilihat dari nilai target C_{PM} nilainya kurang dari satu sehingga tidak sesuai dengan target. Sedangkan, pada fase II diketahui bahwa nilai presisi dan akurasinya tinggi karena lebih dari satu sehingga proses telah kapabel, begipun dilihat dari nilai target C_{PM} yang nilainya lebih dari satu atau telah sesuai dengan target dari perusahaan.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pada analisis yang dilakukan sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa

1. Pengontrolan variabilitas proses dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA didapatkan hasil bahwa setelah dicoba berbagai perhitungan dengan nilai λ , ω dan L yang berbeda beda diketahui bahwa nilai $\lambda = 0,1$ $\omega = 0,3$ dan $L = 3,6484$ merupakan nilai yang optimum, variabilitas proses pada fase I dan fase II diagram kontrol MEWMA telah terkendali secara statistik.
2. Pada pengontrolan *mean* proses dengan menggunakan diagram kontrol MEWMA diketahui bahwa $\lambda = 0,6$ merupakan diagram kontrol yang paling sensitif, sehingga digunakan pada fase II. Setelah dilakukan pengontrolan *mean*

proses diketahui bahwa pada fase I dan fase II diagram kontrol MEWMA telah terkendali secara statistik.

3. Berdasarkan perhitungan kapabilitas proses diketahui bahwa pada fase I proses tidak kapabel dan tidak sesuai dengan nilai target, sedangkan pada fase II proses telah kapabel dan sesuai nilai target.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang memberikan ijin mengolah data untuk keperluan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Said, N. I., 2007. *Desinfeksi Untuk Proses Pengolahan Air Minum*. JAI. Vol.3, No.1. Pusat Teknologi Lingkungan. BPPT.
- [2] Ridwan, M dan Nobelia, J. L., *Pengaruh Kekeruhan, pH, Alkalinitas dan Zat Organik terhadap Dosis Koagulan pada Pengolahan Air Minum. (Studi Kasus : IPAM Ciparay PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung)*. SW1-1. Penelitian, Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- [3] Sullivan, J.H dan Stoumbos, Z.G., 2001. *Achieving Robust Performance With The MEWMA Control Chart*. Proceedings of the Annual Meeting of the American Statistical Association
- [4] Priyana dan Jayanti., 2013. *Laporan Kerja Praktek di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya*. Kerja Praktek. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- [5] Agresti dan Franklin., 2007. *Statistics The Art and Science of Learning From Data*. Pearson (Prentice Hall). New Jersey
- [6] Morisson, D. 2005. *Multivariate Statistical Methods Second Edition*. The Wharton School University Of Pennsylvania, United of America
- [7] Johnson dan Winchern., 1998. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall
- [8] Huwang, L., Yeh, A., dan Wu, Chen. 2007. *Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observation*. Journal of Quality technology, vol. 39, pp.258
- [9] Montgomery, Douglas C., 2005. *Introduction to Statistical Quality Control Fifth Edition*. John Wiley & Sons, inc: New York
- [10] Raissi, S., 2009. *Multivariate Process Capability Indices On The Presence Of Priority For Quality Characteristics*. Journal of Industrial Engineering, Vol 5, No.9, 27-36