

Pengontrolan Kualitas Diameter Pipa Baja pada Proses *Tube Mill* dengan Menerapkan Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA

Dimas N. D. Seputro dan Wibawati

Jurusan Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

E-mail: wibawati@statistika.its.ac.id

Abstrak—PT. X merupakan perusahaan yang memproduksi pipa baja, baik standar dalam negeri maupun standar internasional, dengan tujuan menghadirkan produk pipa baja yang berkualitas tinggi. Pipa baja dengan kualitas yang baik adalah pipa dengan diameter yang simetris (bulat) serta sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Pengontrolan proses produksi berdasarkan diameter pipa diukur dengan empat variabel antara lain *breakdown side*, *cluster side*, *finpass side*, dan *sizing side*. Keempat variabel saling mempengaruhi dan data hasil pengukuran cenderung seragam. Sehingga digunakan diagram kontrol multivariat, salah satunya yaitu diagram kontrol kombinasi MEWMA. Diagram kontrol kombinasi MEWMA merupakan pengembangan dari diagram kontrol MEWMA. Diagram $MZ-M_2Z^2$ merupakan salah satu bentuk diagram kombinasi MEWMA. Diagram MZ untuk mengontrol target proses dan diagram M_2Z^2 untuk mengontrol variabilitas proses. Pengontrolan target dan variabilitas proses fase I dan fase II, serta identifikasi penyebab menggunakan diagram sebab akibat menjadi permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini. Data yang dianalisis berupa data produksi shift I bulan Januari untuk fase I dan data produksi shift I bulan Februari 2014 untuk fase II. Diagram kontrol kombinasi MEWMA menggunakan bobot 0,11989, batas kontrol atas diagram MZ sebesar 18,225, dan batas kontrol atas diagram M_2Z^2 sebesar 101,113. Target dan variabilitas proses produksi fase I terkontrol secara statistik pada iterasi kedua. Parameter *in-control* fase I digunakan sebagai parameter untuk pengontrolan fase II. Target proses fase II tidak terkontrol dengan menggunakan parameter *in-control* fase I, namun sebaliknya untuk variabilitas proses. Hasil tahap *slitter* yang masih bervariasi menjadi penyebab yang berusaha diberikan perhatian lebih oleh perusahaan.

Kata Kunci—diagram kontrol kombinasi MEWMA, diameter pipa, dan pengontrolan proses.

I. PENDAHULUAN

ISO 9001 : 2008 mewajibkan suatu organisasi untuk menerapkan metode sesuai dalam pemantauan / pengendalian dan, bilamana sesuai, pengukuran dari proses-proses Sistem Manajemen Mutu (SMM). Organisasi harus memantau dan mengukur karakteristik produk untuk memeriksa bahwa persyaratan produk telah dipenuhi. Ini harus dilakukan pada tahap-tahap yang sesuai dari proses realisasi produk sejalan dengan pengaturan yang direncanakan. Bukti dari kesesuaian terhadap kriteria keberterimaan harus dipelihara karena pelulusan produk dan penyampaian pelayanan / jasa tidak boleh dilakukan sampai pengaturan yang direncanakan telah dipenuhi dengan memuaskan, kecuali bila disetujui oleh pihak yang berwenang dan, bilamana sesuai, oleh pelanggan.

PT X merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi pipa baja dan pipa *galvanize*. Produk yang dihasilkan PT X meliputi beberapa jenis pipa ekspor dan domestik antara lain pipa baja saluran air, saluran gas, dan pipa berlapis galvanis. Pipa baja untuk saluran air merupakan pipa baja yang dirancang khusus untuk saluran air, pipa baja gas merupakan pipa yang dirancang khusus untuk digunakan sebagai saluran gas dengan standar internasional. PT X menekankan bahwa pipa baja harus memiliki kualitas sesuai dengan standar yang diacu, baik dalam negeri maupun standar luar negeri.

Sehubungan dengan kualitas yang berusaha dijaga oleh PT X, salah satu kualitas tersebut adalah kebulatan pipa (*roundness*). Kualitas kebulatan berusaha dijaga untuk menjauhkan dari keluhan pelanggan. Pada umumnya, pipa yang baik adalah pipa dengan kebulatan yang simetris. Kebulatan pipa diukur dari besar diameter yang diambil pada 4 titik pengukuran, yaitu 0° (*breakdown side*), 45° (*cluster side*), 90° (*finpass side*), dan 135° (*sizing side*) dari lasan (*weld*) pipa. Keempat titik pengukuran tersebut akan menjadi karakteristik kualitas dari kebulatan pipa. Besar diameter pada keempat titik memiliki indikasi saling mempengaruhi satu sama lain dimana jika pada hasil pengukuran titik 0° lebih besar dari titik 90° atau titik 45° lebih besar dari titik 135° , maka ada indikasi kebulatan pipa tidak simetris. Begitu juga untuk kondisi sebaliknya (tidak lebih besar). Jika nilai dari keempat titik pengukuran diameter cenderung tidak sama, maka kebulatan pipa tidak akan pernah cenderung simetris. Selain keempat titik tersebut bertujuan untuk mengetahui kebulatan pipa, juga dapat menjadi indikator ketidaksesuaian *setting* mesin dalam proses *tube mill* dan kondisi material (*coil*) baik dalam *mechanical properties* atau *chemical properties*.

Hingga saat ini, perusahaan menggunakan metode diagram kontrol $I-MR$ (*individual - moving range*) untuk mendeteksi pergeseran proses target (*mean*) dan mendeteksi pergeseran variabilitas proses. Hasil pengontrolan secara univariat, didapat *moving range* cenderung mendekati 0 atau dapat dikatakan proses berjalan dengan hasil produksi yang hampir seragam. Perlu digunakan metode lain yang tepat untuk mengontrol kualitas diameter pipa yang mana 4 titik pengukuran memiliki hubungan secara tersirat, metode tersebut adalah diagram kontrol kombinasi MEWMA. Indikasi bahwa antar variabel pengamatan pengukuran diameter memiliki hubungan dan data hasil pengukuran yang cenderung seragam, maka

digunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA yang dapat mendeteksi pergeseran variabilitas proses dan target proses secara bersama-sama, sehingga lebih cepat mendeteksi data yang tidak terkontrol (*out of control*) [1].

Beberapa peneliti yang menggunakan metode diagram kontrol MEWMA dan diagram kombinasi MEWMA diantaranya [2] untuk pengendalian proses produksi boiler di PT. ALSTOM yang menunjukkan bahwa diagram kontrol MEWMA mampu mengontrol proses produksi boiler dan [3] untuk pengontrolan uji stabilitas jenis tablet antibiotik pada masa kadaluarsa dimana mampu memberikan hasil pengontrolan yang baik. Penelitian [4] menggunakan diagram kombinasi MEWMA untuk mengontrol proses produksi pipa PVC dengan hasil produksi yang terkontrol dengan baik, serta [5] memberikan hasil penelitian mengenai kualitas produksi minyak pelumas telah terkontrol dengan menggunakan diagram kontrol kombinasi MEWMA. Berdasarkan keempat penelitian tersebut maka diagram kontrol kombinasi *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dapat digunakan pada pengontrolan kualitas diameter pipa.

Penelitian ini berisi tentang gambaran pengontrolan kualitas kebulatan pipa baja berdasarkan diagram kontrol kombinasi MEWMA, sehingga dapat menjadi metode alternatif untuk pemantauan proses produksi, serta bukan memberikan cara bagaimana mengatasi penyebab proses tidak berjalan dengan baik secara teknis. Selain itu, penelitian ini juga sebagai penerapan dan pengembangan ilmu statistika dalam bidang industri. Penelitian dilakukan pada proses *tube mill* mesin mill series 303.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengujian Korelasi

Pengujian korelasi menggunakan uji Bartlett bertujuan untuk mengetahui adanya korelasi antara variabel yang berjumlah lebih dari satu. Pengujian hipotesisnya adalah sebagai berikut [7].

$H_0 : R = I$ (Matrik Korelasi = Matrik Identitas)

$H_1 : R \neq I$ (Matrik Korelasi \neq Matrik Identitas)

Statistik uji : $\chi^2_{hitung} = -(N-1 - \frac{2p+5}{6}) \ln|R|$ (1)

dengan :

R = Matrik korelasi sampel

N = jumlah data

p = jumlah variabel

Daerah kritis : Tolak H_0 jika $P_{value} < \alpha$ yang artinya ada korelasi antar dua variabel karakteristik kualitas atau Tolak H_0 jika $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{\alpha, p(p-1)/2}$.

B. Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA

Diagram kontrol *Multivariate Exponential Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan pengembangan dari diagram kontrol EWMA yang digunakan untuk mengontrol kualitas data univariat [7]. Diagram kontrol kombinasi MEWMA merupakan pengembangan dari diagram kontrol MEWMA dan pada penelitian ini digunakan untuk pengamatan individual.

Istilah dalam distribusi normal multivariat, σ adalah vektor simpangan kuadrat dari p variabel dan μ_0, Σ_0 dan σ_0 merupakan nilai *in-control* untuk μ, Σ dan σ . Jika terdapat X_{ij} dengan pengamatan ke- j ($j = 1, 2, \dots, n$) untuk variabel ke- i ($i = 1, 2, \dots, p$), maka *standardized* dari pengamatan yaitu $Z_{ij} = (X_{ij} - \mu_{0i}) / \sigma_{0i}$ dimana μ_{0i} adalah komponen ke- i dari μ_0 dan σ_{0i} adalah komponen ke- i dari σ_0 .

Jika $Z_j = (Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{pj})^T$, dimana $j = 1, 2, \dots, n$, merupakan suatu vektor dari *standardized observations* dengan Σ_z merupakan matrik kovarian dari z_j dan Σ_{z0} merupakan matrik kovarian *in-control* dari z_j . Σ_z digunakan dalam pengontrolan proses pada fase I, sedangkan Σ_{z0} digunakan dalam pengontrolan proses pada Fase II.

Matrik kovarians *in-control* Σ_{z0} diperoleh berdasarkan data pada proses yang terkontrol dalam Fase I. Untuk variabel ke- i pengamatan ke- j , rata-rata sampel *standardized* yaitu $Z_j = \sqrt{n} \left(\frac{X_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \right)$ dan rata-rata *standardized* yaitu $E_{ij}^Z = (1-\lambda)E_{j-1,i}^Z + \lambda Z_{ij}$, dimana, $i = 1, 2, \dots, p$ dengan $E_{0i} = 0$ dan $0 < \lambda \leq 1$ dengan $c_\infty = \lambda / (2 - \lambda)$.

Diagram kontrol MEWMA untuk memantau target proses berdasarkan pada $\{E_{ij}^Z\}$ disebut dengan diagram MZ, digunakan statistik pada (2) dimana i adalah karakteristik kualitas dan j adalah pengamatan.

$M_j^Z = c_\infty^{-1} (E_{j1}^Z, E_{j2}^Z, \dots, E_{jp}^Z) \Sigma_{z0}^{-1} (E_{j1}^Z, E_{j2}^Z, \dots, E_{jp}^Z)^T$ (2)

Untuk mendeteksi simpangan kuadrat (*squared deviations chart*), diberikan statistik EMWA untuk simpangan *standardized* kuadrat dari target, yaitu $E_{ij}^{Z^2} = (1-\lambda)E_{j-1,i}^{Z^2} + \lambda \sum_{j=1}^n \frac{Z_{ij}^2}{n}$ (3)

dimana $E_{0i}^{Z^2} = 1, 0 < \lambda \leq 1$, dan $i=1, 2, \dots, p$

Bentuk pertama dari statistik MEWMA berdasarkan pada $\{E_{ij}^{Z^2}\}$ disebut diagram M_1Z^2 adalah

$M_{1j}^{Z^2} = n(2c_\infty)^{-1} (E_{j1}^{Z^2} - 1, E_{j2}^{Z^2} - 1, \dots, E_{jp}^{Z^2} - 1) (\Sigma_{z0}^{(2)})^{-1} (E_{j1}^{Z^2} - 1, E_{j2}^{Z^2} - 1, \dots, E_{jp}^{Z^2} - 1)^T$ (4)

dan untuk meningkatkan kemampuan pendeteksian variabilitas proses, bentuk kedua dari statistik MEWMA didasarkan pada $\{E_{ij}^{Z^2}\}$ disebut diagram M_2Z^2 adalah

$M_{2j}^{Z^2} = n(2c_\infty)^{-1} (E_{j1}^{Z^2}, E_{j2}^{Z^2}, \dots, E_{jp}^{Z^2}) (\Sigma_{z0}^{(2)})^{-1} (E_{j1}^{Z^2}, E_{j2}^{Z^2}, \dots, E_{jp}^{Z^2})^T$ (5)

Batas kontrol untuk diagram kontrol MZ dan diagram kontrol M_2Z^2 dengan banyak variabel (p) sebesar 4 dan banyak pengamatan (n) sebesar 1, dapat dilihat pada Tabel 1 [7].

Tabel 1.

Batas Kontrol Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA				
Diagram Kombinasi	MZ - M_2Z^2	MZ - M_2Z^2	MZ - M_2Z^2	MZ - M_2Z^2
λ MZ	0,11989	0,11989	0,11989	0,11989
λ M_2Z^2	0,11989	0,1591	0,20473	0,24788
MZ UCL	18,225	18,2357	18,2484	18,2574
M_2Z^2 UCL	101,113	94,3174	91,3618	90,8875

C. Diagram Ishikawa

Diagram sebab akibat atau diagram *ishikawa* adalah suatu grafik yang menggambarkan suatu hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor yang menjadi

penyebabnya. Diagram sebab akibat disusun dengan suatu urutan yang mengacu pada berlangsungnya suatu proses dengan tujuan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab terjadinya suatu masalah. 4M + 1E yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), material (*material*), metode (*methode*), dan lingkungan (*environment*), umumnya merupakan penyebab terjadinya suatu masalah [7].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder berupa hasil pengukuran diameter pipa baja PT. X yang dihasilkan dari proses *tube mill series* Mill 303 shift I selama periode Januari hingga Februari 2014. Shift I produksi berjalan mulai pukul 07.00 hingga 19.00 WIB selama hari Senin hingga hari Jumat. Jenis pipa yang akan dianalisis adalah pipa standart API ukuran 3.5 inchi karena pipa jenis ini sering diproduksi pada mesin tersebut. Struktur data pengukuran diameter pipa diilustrasikan pada Tabel 2 dengan X_1 adalah diameter pipa pada posisi *breakdown side*, X_2 adalah diameter pipa pada posisi *cluster side*, X_3 adalah diameter pipa pada posisi *finpass side*, dan X_4 adalah diameter pipa pada posisi *sizing side*. Jumlah pengamatan fase I sebanyak 47 data, sedangkan jumlah data fase II sebanyak 18 data.

Tabel 2. Struktur Data Pengukuran Diameter Pipa

Pengamatan coil (j)	Karakteristik Kualitas (i)			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}
3	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	X_{n1}	X_{n2}	X_{n3}	X_{n4}

Langkah analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Menyajikan rata-rata, nilai minimal, nilai maksimal, dan varian diameter pipa pada keempat karakteristik kualitas untuk setiap fase.
- 2) Menguji korelasi antar karakteristik kualitas pada data diameter pipa masing-masing fase.
- 3) Mengontrol proses Fase I hingga mendapatkan proses terkontrol. Pengontrolan menggunakan bobot 0,11989 dengan batas kontrol atas diagram MZ sebesar 18,225 dan batas kontrol atas diagram M_2Z^2 sebesar 101,113.
- 4) Mengeluarkan pengamatan *out of control* dari perhitungan dan mengidentifikasi penyebab proses produksi belum terkontrol dengan menggunakan diagram sebab akibat.
- 5) Parameter *in-control* pada Fase I, yaitu ΣZ_0 dan $\Sigma Z_0^{(2)}$, digunakan untuk mengontrol target proses dan variabilitas proses pada Fase II.
- 6) Kesimpulan.

IV. PEMBAHASAN

A. Deskripsi Karakteristik Diameter Pipa

Karakteristik kualitas produk yang diamati pada penelitian ini adalah diameter pipa yang diukur dari empat lokasi, yaitu *breakdown side*, *cluster side*, *finpass side*, dan *sizing side*. Deskripsi dari diameter pipa dapat dilihat pada Tabel 3 & Tabel 4.

Tabel 3. Karakteristik Diameter Pipa Fase I (satuan : milimeter)

Karakteristik Kualitas	Rata-rata	Nilai Min	Nilai Maks	Standar Spesifikasi	
				Min	Maks
<i>Breakdown side</i> (X_1)	89,302	89,2	89,5	88,2	89,6
<i>Cluster side</i> (X_2)	89,355	89,2	89,5		
<i>Finpass side</i> (X_3)	89,064	89,0	89,2		
<i>Sizing side</i> (X_4)	89,379	89,1	89,5		

Tabel 3 mendeskripsikan rata-rata diameter pipa, nilai minimal, nilai maksimal, serta standar spesifikasi diameter pipa untuk Fase I. Rata-rata diameter pipa pada keempat lokasi memiliki nilai yang besarnya hampir sama untuk Fase I. Secara garis besar, rata-rata diameter pipa pada Fase I berada pada standar spesifikasi diameter pipa, yaitu 88,2 mm hingga 89,6 mm.

Tabel 4. Karakteristik Diameter Pipa Fase II (satuan : milimeter)

Karakteristik Kualitas	Rata-rata	Nilai Min	Nilai Maks	Standar Spesifikasi	
				Min	Maks
<i>Breakdown side</i> (X_1)	89,333	89,0	89,4	88,2	89,6
<i>Cluster side</i> (X_2)	89,378	89,3	89,5		
<i>Finpass side</i> (X_3)	89,017	89,0	89,1		
<i>Sizing side</i> (X_4)	89,033	89,0	89,2		

Rata-rata diameter pipa, nilai minimal, nilai maksimal, serta standar spesifikasi diameter pipa untuk Fase II, dapat dilihat pada Tabel 4. Secara garis besar, rata-rata diameter pipa pada Fase II berada pada standar spesifikasi diameter pipa, yaitu 88,2 mm hingga 89,6 mm.

Tabel 5. Varian Diameter Pipa

Karakteristik Kualitas	Fase I	Fase II
<i>Breakdown side</i> (X_1)	0,00413	0,0094
<i>Cluster side</i> (X_2)	0,0047	0,0030
<i>Finpass side</i> (X_3)	0,00279	0,00147
<i>Sizing side</i> (X_4)	0,0221	0,0059

Tabel 5 mendeskripsikan varian diameter pipa untuk fase I dan fase II. *Sizing side* memiliki varian data paling besar diantara ketiga karakteristik yang lainnya pada fase I. Sedangkan pada fase I, *breakdown side* dan *sizing side* memiliki varian yang lebih besar dibandingkan dengan *cluster side* dan *finpass side*. Besar varian mengindikasikan bahwa diameter pipa hasil pengukuran pada titik tersebut belum sama / homogen.

B. Pemeriksaan Korelasi Antar Karakteristik Kualitas

Diagram kontrol multivariat memiliki syarat bahwa antar karakteristik kualitas saling berhubungan atau berkorelasi. Korelasi antar variabel karakteristik kualitas pada diameter pipa baja dapat dilakukan dengan menggunakan uji korelasi *Bartlett's test* dan nilai α sebesar 5%. Pengujian korelasi menggunakan metode *Bartlett's test* karena variabel yang diuji lebih dari satu variabel.

$$R_{Fase I} = \begin{pmatrix} 1 & 0,07143 & -0,2970 & -0,04065 \\ 0,07143 & 1 & 0,32424 & 0,07526 \\ -0,2970 & 0,32424 & 1 & 0,61861 \\ -0,04065 & 0,07526 & 0,61861 & 1 \end{pmatrix}$$

$$R_{FaseII} = \begin{pmatrix} 1 & 0,47919 & 0,31623 & -0,15811 \\ 0,47919 & 1 & 0,18650 & 0,18650 \\ 0,31623 & 0,18650 & 1 & -0,2000 \\ -0,15811 & 0,18650 & -0,2000 & 1 \end{pmatrix}$$

Tabel 6 merupakan hasil pengujian korelasi pada karakteristik kualitas pipa baja berdasarkan diameter pipa untuk fase I & II.

Hipotesis :

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Matrik Korelasi = Matrik Identitas)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Matrik Korelasi \neq Matrik Identitas)

Tabel 6.

Hasil Uji Bartlett		
Statistik Uji	Fase I	Fase II
Approx. Chi-square	35,2291	7,75567
$\chi^2_{0,05,6}$	12,5916	12,5916

Hasil pemeriksaan korelasi antar variabel karakteristik diameter pipa baja menggunakan *Bartlett's test*, seperti pada Tabel 6. Keputusan yang diambil yaitu tolak H_0 untuk fase I, sedangkan gagal tolak H_0 untuk fase II. Untuk Fase I didapat keputusan tolak H_0 dengan $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{0,05,6}$ atau $35,2291 > 12,5916$. Untuk Fase II didapat keputusan gagal tolak H_0 dengan $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{0,05,6}$ atau $7,75567 < 12,5916$. Karena fase II digunakan sebagai pendeteksian stabilitas proses dari fase I dan matrik \mathbf{R} untuk fase II bukan merupakan matrik \mathbf{I} , maka fase II memiliki hubungan minimal 2 variabel berhubungan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa antar karakteristik diameter pipa *breakdown side*, *cluster side*, *finpass side*, dan *sizing side* memiliki hubungan atau korelasi secara bersama-sama.

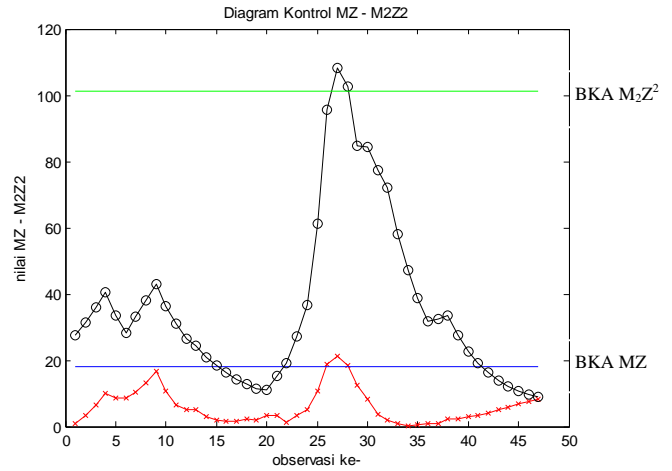
C. Penerapan Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA

Asumsi hubungan antar variabel karakteristik kualitas terpenuhi setelah diuji dengan *Bartlett's Test*. Selanjutnya, proses produksi pada tahap *tube mill* berdasarkan diameter pipa baja akan dilihat pergeseran target (*mean*) proses dan variabilitas proses menerapkan diagram kontrol kombinasi *multivariate exponentially weighted moving average* (MEWMA). Pendeteksian target proses menggunakan diagram kontrol MZ dan pendeteksian variabilitas proses menggunakan diagram kontrol M_2Z^2 . Diagram kontrol MZ dan diagram kontrol M_2Z^2 dimulai dengan menghitung nilai *standardize* dari data pengamatan diameter pipa dan kemudian didapatkan matrik varian – kovarian dari hasil *standardize*. Nilai *standardize* dan matrik varian – kovarian *standardize* menjadi nilai yang akan dilakukan pengontrolan, baik untuk diagram MZ maupun diagram kontrol M_2Z^2 [1].

Fase I menggunakan data produksi pipa baja tahap Mill periode bulan Januari minggu ketiga dan minggu keempat dengan empat variabel karakteristik kualitas yaitu *breakdown side*, *cluster side*, *finpass side*, dan *sizing side*. Jumlah data pengamatan fase I sebanyak 47 data.

Diagram kontrol kombinasi yang ditunjukkan dalam Gambar 1 adalah diagram kontrol MZ untuk mengontrol target (*mean*) proses fase I dan diagram kontrol M_2Z^2 untuk mengontrol variabilitas proses fase I. Diagram kontrol M_2Z^2 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pipa baja belum terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas sebesar 101,113. Parameter Σ_{z0}^2 hasil pengontrolan diagram kontrol M_2Z^2 sebagai berikut.

$$\Sigma_{z0}^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,0051 & 0,0882 & 0,0017 \\ 0,0051 & 1 & 0,1051 & 0,0057 \\ 0,0882 & 0,1051 & 1 & 0,3827 \\ 0,0017 & 0,0057 & 0,3827 & 1 \end{pmatrix}$$



Gambar 1. Diagram kontrol MZ (titik x) dan M_2Z^2 (titik o) Fase I

Parameter Σ_{z0}^2 hasil pengontrolan diagram kontrol M_2Z^2 digunakan dalam perhitungan mendapatkan nilai M_2Z^2 . Sebagai contoh perhitungan, digunakan data observasi pertama pada fase I yaitu $X_1 = [89,3 \ 89,3 \ 89 \ 89,1]$, kemudian nilai *standardize* kuadrat Z_1^2 untuk observasi pertama didapat sebesar $Z_1^2 = [0,0011 \ 0,6512 \ 1,4584 \ 3,5079]$. Setelah itu diperoleh E_1^2 sebesar $E_1^2 = [0,8802 \ 0,9582 \ 1,055 \ 1,3007]$. Seperti pada (5), didapat nilai $M_{z1}^2 = 27,7122$ dengan

$$(2c_\infty)^{-1} = \left(2 \left(\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \right) \right)^{-1} = \left(2 \left(\frac{0,11989}{(2-0,11989)} \right) \right)^{-1} = 7,84098$$

Variabilitas proses produksi belum terkontrol disebabkan oleh 2 nilai M_2Z^2 berada diluar batas kontrol atas dan grafik berpola tidak random. Observasi *out of control* dapat dilihat dalam Tabel 7.

Diagram kontrol MZ menunjukkan bahwa target proses produksi pipa baja belum terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas untuk diagram MZ sebesar 18,225. Parameter Σ_{z0} hasil pengontrolan diagram kontrol MZ sebagai berikut.

$$\Sigma_{z0} = \begin{pmatrix} 1 & 0,0714 & -0,297 & -0,0406 \\ 0,0714 & 1 & 0,3242 & 0,0753 \\ -0,297 & 0,3242 & 1 & 0,6186 \\ -0,0406 & 0,0753 & 0,6186 & 1 \end{pmatrix}$$

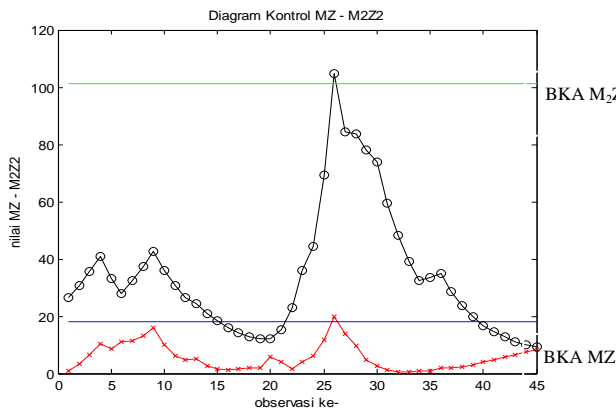
Parameter Σ_{z0} hasil pengontrolan diagram kontrol MZ digunakan dalam perhitungan mendapatkan nilai MZ. Sebagai contoh perhitungan, digunakan data observasi pertama pada fase I yaitu $X_1 = [89,3 \ 89,3 \ 89 \ 89,1]$, kemudian nilai *standardize* Z_1 untuk observasi pertama didapat sebesar $Z_1 = [-0,0331 \ -0,807 \ -1,2076 \ -1,8729]$.

Setelah itu diperoleh E_1 sebesar $E_1 = [-0,004 \ -0,0967 \ -0,1448 \ -0,2245]$. Seperti pada (2), didapat nilai $M_1^z = 0,8992$ dengan

$$c_{\infty}^{-1} = \left(\frac{\lambda}{(2-\lambda)} \right)^{-1} = \left(\frac{0,11989}{(2-0,11989)} \right)^{-1} = 15,682$$

Target proses belum terkontrol disebabkan oleh 3 nilai MZ berada diluar batas kontrol atas dan grafik berpola tidak random. Observasi *out of control* dapat dilihat dalam Tabel 7.

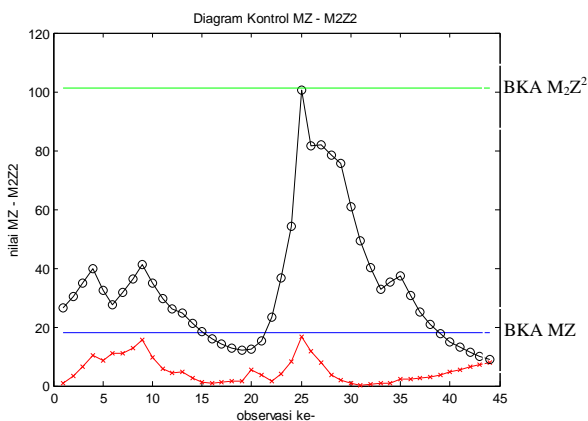
Telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk mendeteksi kestabilan proses, proses produksi pada fase I harus terkontrol. Sehingga, observasi *out of control* dihilangkan dari perhitungan untuk mendapatkan proses produksi yang terkontrol dan dilakukan perbaikan pada kondisi produksi nyata setelah mengetahui penyebabnya. Nilai M_2Z^2 pada observasi ke-27 & ke-28 dikeluarkan dari perhitungan terlebih dahulu, namun pada kenyataannya dicari penyebab titik tersebut *out of control* dan dilakukan perbaikan. Hasil pengontrolan setelah observasi *out of control* dihilangkan dari perhitungan, dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kontrol MZ (titik x) dan M_2Z^2 (titik o) Fase I (iterasi 1)

Diagram kontrol M_2Z^2 pada Gambar 2 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pipa baja belum terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas sebesar 101,113. Variabilitas proses produksi belum terkontrol disebabkan oleh 1 nilai M_2Z^2 berada diluar batas kontrol atas. Diagram kontrol MZ pada Gambar 2 menunjukkan bahwa target proses produksi pipa baja belum terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas untuk diagram MZ sebesar 18,225 dan grafik berpola tidak random. Target proses belum terkontrol disebabkan oleh 1 nilai MZ berada diluar batas kontrol atas. Observasi *out of control* dapat dilihat dalam Tabel 7.

Hasil pengontrolan setelah observasi ke-26 nilai M_2Z^2 *out of control* iterasi 1 dihilangkan dari perhitungan untuk diperoleh proses produksi terkontrol secara statistik, dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram kontrol MZ (titik x) dan M_2Z^2 (titik o) Fase I (iterasi 2)

Diagram kontrol M_2Z^2 pada Gambar 3 menunjukkan bahwa variabilitas proses produksi pipa baja telah terkontrol secara statistik pada iterasi kedua dengan batas kontrol atas sebesar 101,113. Diagram kontrol MZ pada Gambar 3 menunjukkan bahwa target proses produksi pipa baja telah terkontrol secara statistik pada iterasi kedua dengan batas kontrol atas untuk diagram MZ sebesar 18,225. Grafik kedua diagram masih berpola tidak random. Oleh karena ingin diketahui kestabilan parameter proses *in-control* dengan tidak ada titik diluar batas kontrol, maka parameter *in-control* fase I dapat digunakan pada pengontrolan fase II.

Fase I telah mendapatkan proses produksi yang terkontrol pada iterasi kedua. Sehingga, pengontrolan pada Fase II dapat dilakukan dengan menggunakan parameter *in-control* Fase I.

Tabel 7. Observasi *out of control* Fase I

Iterasi ke-	Diagram MZ		Diagram M_2Z^2	
	Jumlah nilai MZ yang <i>out of control</i>	Observasi ke-	Jumlah nilai M_2Z^2 yang <i>out of control</i>	Observasi ke-
0	3	26-28	2	27-28
1	1	26	1	26

Fase II menggunakan data produksi pipa baja tahap Mill periode bulan Februari minggu pertama dengan jumlah data pengamatan sebanyak 18 data dan empat variabel karakteristik kualitas yaitu *breakdown side*, *cluster side*, *finpass side*, dan *sizing side*. Seperti yang dikemukakan oleh [1] bahwa fase II memiliki asumsi yang sederhana bahwa parameter *in-control* telah diketahui atau parameter *in-control* dapat diabaikan / ditiadakan. Penelitian ini menganggap bahwa parameter *in-control* telah diketahui, yaitu parameter *in-control* Σ_{Z0} , hasil diagram kontrol MZ yang telah terkontrol secara statistik pada iterasi kedua, sebagai berikut.

$$\Sigma_{Z0} = \begin{pmatrix} 1 & 0,0743 & -0,3972 & -0,0098 \\ 0,0743 & 1 & 0,1599 & 0,1609 \\ -0,3972 & 0,1599 & 1 & 0,7921 \\ -0,0098 & 0,1609 & 0,7921 & 1 \end{pmatrix}$$

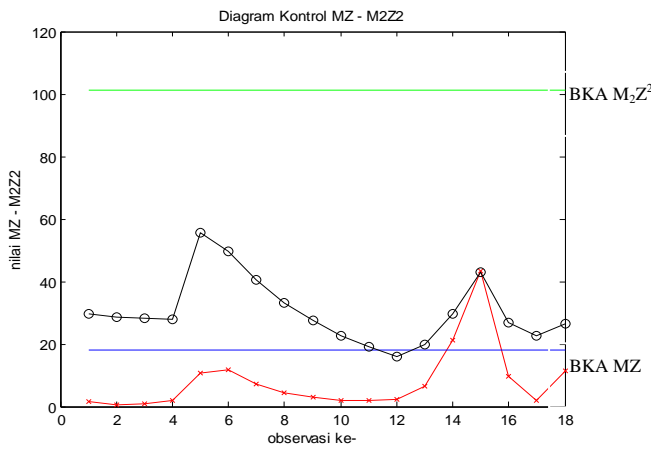
dan $\Sigma_{Z0}^{(2)}$, hasil diagram kontrol M_2Z^2 yang telah terkontrol secara statistik pada iterasi kedua, sebagai berikut.

$$\Sigma_{Z0}^{(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 0,0055 & 0,1578 & 0,0001 \\ 0,0055 & 1 & 0,0256 & 0,0259 \\ 0,1578 & 0,0256 & 1 & 0,6274 \\ 0,0001 & 0,0259 & 0,6274 & 1 \end{pmatrix}$$

Menurut [7], setelah fase I dilakukan pengontrolan sampai menunjukkan proses yang terkontrol, selanjutnya fase II dilakukan pengontrolan menggunakan taksiran parameter yang telah terkontrol pada fase I, yaitu Σ_{Z0} dan $\Sigma_{Z0}^{(2)}$ untuk melihat kestabilan proses.

Diagram kontrol M_2Z^2 dalam Gambar 4 menunjukkan pengontrolan variabilitas proses produksi tahap *tube mill* terhadap diameter pipa pada fase II terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas (BKA) sebesar 101,113. Diagram kontrol MZ dalam Gambar 4 menunjukkan pengontrolan target (*mean*) proses produksi tahap *tube mill* terhadap diameter pipa pada fase II belum terkontrol secara statistik dengan batas kontrol atas (BKA) sebesar 18,225.

Target proses produksi tidak terkontrol secara statistik disebabkan 2 nilai MZ berada diluar batas kontrol atas. Hal ini menunjukkan bahwa parameter *in-control* pada fase I, yaitu Σ_{Z_0} dan $\Sigma_{Z_0}^{(2)}$, belum dapat memberikan hasil stabilitas target proses yang belum baik pada pengontrolan fase II.



Gambar 4. Diagram kontrol MZ (titik x) dan M_2Z^2 (titik o) Fase II

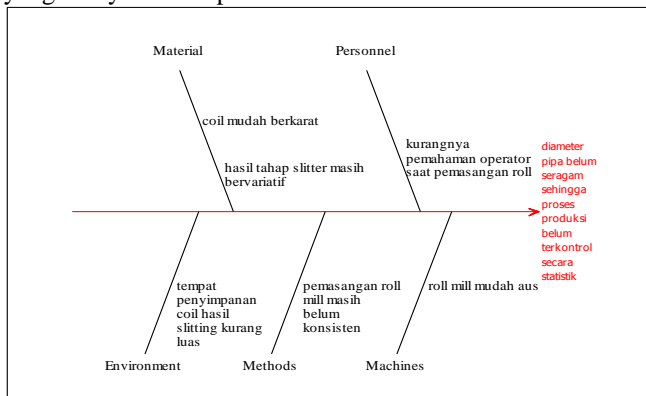
Observasi nilai MZ yang lebih dari batas kontrol atas pada fase II dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8.
Observasi *out of control* Fase II

Diagram MZ		Diagram M_2Z^2	
Jumlah nilai MZ yang <i>out of control</i>	Observasi ke-	Jumlah nilai M_2Z^2 yang <i>out of control</i>	Observasi ke-
2	14-15	0	-

D. Diagram Sebab Akibat

Diagram sebab akibat memberikan informasi faktor apa yang menyebabkan proses tidak terkontrol.



Gambar 5. Diagram sebab akibat proses produksi belum terkontrol

Penyebab proses tidak terkontrol diidentifikasi oleh pihak yang menaungi proses produksi tahap *tube mill* dan selanjutnya dikategorikan kedalam 5 faktor, seperti pada Gambar 5. Kurangnya pemahaman operator saat pemasangan roll (faktor manusia), coil yang mudah berkarat dan hasil tahap slitter masih bervariasi (faktor material), roll mill yang mudah aus (faktor mesin), pemasangan roll mill masih belum konsisten (faktor metode) dan tempat penyimpanan coil hasil tahap sebelumnya butuh pelebaran (faktor lingkungan) menjadi penyebab proses produksi *tube mill* tidak terkontrol.

V. KESIMPULAN

Pengontrolan proses produksi tahap *tube mill* terhadap diameter pipa pada fase I pada dasarnya tidak terkontrol secara statistik, baik untuk target (mean) proses dan variabilitas proses. Namun, untuk mendeteksi kestabilan parameter *in-control* fase I, yaitu hasil proses produksi terkontrol, didapat kondisi terkontrol pada iterasi kedua. Pengontrolan fase II menggunakan parameter *in control* fase I dengan hasil target proses tidak terkontrol secara statistik untuk diagram kontrol MZ, namun variabilitas proses terkontrol secara statistik untuk diagram kontrol M_2Z^2 . Diagram sebab akibat (*Ishikawa*) menunjuk faktor manusia, material, metode, mesin, dan lingkungan sebagai penyebab pengamatan *out of control* dan pola yang tidak random pada kedua diagram. Salah satu faktor yang menjadi bahan perbaikan proses yaitu hasil tahap *slitter* masih bervariasi.

Perusahaan dapat menggunakan analisis penelitian ini sebagai alternatif metode evaluasi proses produksi sehingga kualitas diameter pipa dapat stabil dan untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian terhadap aspek atau karakteristik kualitas pipa baja, seperti hasil tahap *slitter* dengan hasil yang masih bervariasi dapat dianalisa proses produksi pada tahap tersebut. Sehingga, penyebab proses tidak terkontrol yang berasal dari faktor material dapat ditanggulangi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Reynolds, M.R & Stoumbos, Z.G. (2008). Combinations of Multivariate Shewhart and MEWMA Control Charts for Monitoring the Mean Vector and Covariance Matrix. *Journal of Quality Technology*, vol.40, pp 381-393.
- [2] Dewantara, C. (2013). Penerapan Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart Pada Proses Pembuatan Boiler di PT. ALSTOM ESI Surabaya. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA ITS 1309100101.
- [3] Sukmanita, R. (2014). Monitoring Uji Stabilitas Jenis Tablet Antibiotik Pada Masa Kadaluarsa Menggunakan Diagram Kontrol Multivariat (Studi Kasus : Pt "X"). Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA ITS 1311106004.
- [4] Dewayanti, P. W. (2011). Penerapan Diagram Kontrol Kombinasi Mewma Pada Tahap Cutting Proses Produksi Pipa PVC. Surabaya: Tugas Akhir Jurusan Statistika FMIPA ITS 1307100031.
- [5] Tyagita, R. P. V. (2010). Pengontrolan Kualitas Proses Produksi Minyak Lumas Dengan Menggunakan Diagram Kontrol Kombinasi Mewma. Surabaya: Tesis Jurusan Statistika FMIPA ITS 1308201006.
- [6] Morisson, D. 2005. *Multivariate Statistical Methods (Second Edition)*. United States of America : The Wharton School University Of Pennsylvania.
- [7] Montgomery. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. New York: John Wiley & Sons, inc.
- [8] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. Vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill (1964) 15-64.
- [9] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth (1993) 123-135.
- [10] H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag (1985) Ch. 4.
- [11] B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," belum dipublikasikan.