

Analisis Kapabilitas Proses Produk Transformator *Hermetically Sealed* 100 kVA di PT. “X”

Geniuzan Nimas Bianti dan Sri Mumpuni Retnaningsih
Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: mumpuni@statistika.its.ac.id dan geniuzan11@mhs.statistika.its.ac.id

Abstrak—Pengendalian kualitas transformator *hermetically sealed* 100 kVA yang diproduksi oleh PT. X belum pernah dilakukan evaluasi terhadap produk cacat. Pengendalian kualitas yang dilakukan selama ini baru berdasarkan prinsip *specify value*, sedangkan secara statistik masih dilakukan secara deskriptif sederhana. Karakteristik kualitas transformator memiliki empat variabel penting yaitu rugi-rugi inti besi (WF), arus mengalir tanpa beban (I_0), rugi-rugi tembaga (WCu) dan impedansi (I_z). Analisis yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas secara statistik pada penelitian ini yaitu analisis kapabilitas proses dan mencari penyebab produk cacat. Analisis kapabilitas proses dilakukan setelah membuat peta kendali multivariat yaitu *improved generalized variance* individu dan T^2 Hotelling terkendali. Hasil dari analisis diketahui bahwa penyebab utama produk cacat adalah variabel kualitas WF (rugi-rugi inti besi) dan I_0 (arus mengalir tanpa beban). Proses sudah terkendali tanpa menggunakan tujuh pengamatan yang *out of control* dan diperoleh nilai C_p^* sebesar 4.7137 yang menunjukkan bahwa proses produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015 sudah kapabel.

Kata Kunci—Kapabilitas Proses, Peta Kendali *Improved Generalized Variance* Individu, Peta Kendali T^2 Hotelling, Transformator *Hermetically Sealed*.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik Indonesia diproyeksikan membutuhkan tambahan kapasitas pembangkit sebesar 59,5 gigawatt sampai tahun 2022 atau rata-rata bertambah 6 gigawatt pertahun. Menurut Dirjen Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), penambahan kapasitas pembangkit dikarenakan kebutuhan listrik Indonesia pada tahun 2022 akan mencapai 386,7 terrawatt hours (TWh) [1]. Tambahan kapasitas pembangkit mengakibatkan terjadi peningkatan kebutuhan transformator untuk pembangunan gardu, sehingga produksinya ditambah agar memenuhi kebutuhan. Transformator adalah jenis mesin listrik kategori statis yang dapat memindahkan tegangan bolak-balik dari belitan primer ke belitan sekunder pada frekuensi yang tetap, dimana fungsinya untuk sistem jaringan listrik, maupun peralatan elektronik [2].

PT. X adalah perusahaan manufaktur pembuat transformator yang eksis di pasar internasional dan mampu memenuhi pesanan transformator hingga kapasitas 40.000 kVA, serta sebagai penyumbang tetap kebutuhan listrik tanah air sekitar 25-30 % [3]. PT. X terus bertekad untuk menjaga kualitas dan memberikan pelayanan terbaik, tetapi pada kenyataannya masih terdapat produk cacat sehingga perlu dilakukan *reject/return*. Hal ini terus

menjadi masalah karena dapat menambah biaya untuk perbaikan produk. Salah satu cara yang dapat dilakukan PT. X untuk menjaga kualitas transformator yaitu melakukan evaluasi kapabilitas proses.

Produk transformator yang paling banyak di produksi PT. X adalah transformator *hermetically sealed* 100 kVA yang selama ini belum pernah dilakukan evaluasi terhadap produk cacat. Pengendalian kualitas yang dilakukan baru berdasarkan prinsip *specify value* sedangkan secara statistik masih dilakukan analisis deskriptif sederhana. Sehingga untuk meningkatkan kualitas secara statistik dilakukan analisis kapabilitas proses dan mencari penyebab produk cacat. Suatu proses dikatakan kapabel apabila terkendali secara statistik, memenuhi batas spesifikasi serta memiliki presisi dan akurasi yang tinggi, dengan demikian untuk melakukan analisis kapabilitas proses perlu membuat peta kendali. Peta kendali yang digunakan adalah peta kendali multivariat yaitu *improved generalized variance* individu dan T^2 Hotelling karena transformator *hermetically sealed* 100 kVA memiliki pengukuran karakteristik yang terdiri dari empat variabel penting yaitu rugi-rugi inti besi (WF), arus mengalir tanpa beban (I_0), rugi-rugi tembaga (WCu) dan impedansi (I_z) dimana antara variabel satu dengan lainnya saling berhubungan.

Penelitian tentang pengendalian kualitas pada transformator pernah dilakukan oleh Rahmanto [4] menghasilkan total waktu yang digunakan untuk memenuhi permintaan konsumen adalah 133 hari dan jumlah cacat yang terjadi paling tinggi pada divisi *outer*. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Gultom [5] menunjukkan bahwa terjadi kenaikan level *sigma* dari 3.85 menjadi 4.32 dengan efisiensi proses sebesar 89%.

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah menentukan kapabilitas proses dan mencari penyebab terjadinya cacat pada produk transformator *hermetically sealed* 100 kVA.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan analisis yang digunakan pada pengamatan yang lebih dari satu variabel, dimana antar variabel diasumsikan berdistribusi multivariat normal dan saling berkorelasi [6].

1) Distribusi Multivariat Normal

Pemeriksaan distribusi multivariat normal dilakukan untuk memperkuat dugaan bahwa data sudah berdistribusi multivariat normal dan sebagai asumsi dasar yang harus dipenuhi dalam analisis rata-rata antar sampel, analisis

peta kendali multivariat dan analisis kemampuan proses multivariat [6]. Pemeriksaan distribusi multivariat normal dapat dilakukan dengan membuat $q-q$ plot dengan menghitung nilai jarak kuadrat pengamatan ke- i pada persamaan (1),

$$d_i^2 = (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j)^T \mathbf{S}_1^{-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j) \quad (1)$$

dimana d_i^2 merupakan nilai jarak kuadrat pengamatan ke- i , \mathbf{x}_{ij} merupakan vektor pengamatan ke- i pada variabel ke- j , $\bar{\mathbf{x}}_j$ merupakan vektor rata-rata objek pengamatan ke- j dan \mathbf{S}_1^{-1} merupakan invers matrik varian kovarian yang berukuran $S_{p \times p}$.

Pengamatan dikatakan berdistribusi multivariat normal apabila proporsi nilai $d_i^2 \leq \chi_{(p,0.5)}^2$ berkisar 50%. Nilai $\chi_{(p,0.5)}^2$ diperoleh dari table χ^2 dimana $\chi_{(p,0.5)}^2$ adalah kontur elips dengan probabilitas 0.5 dan p adalah jumlah variabel kualitas.

2) Korelasi Antar Variabel

Uji *Bartlett sphericity* digunakan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan antar variabel kualitas dalam kasus multivariat, dimana variabel X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan bersifat saling bebas (*independent*) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas [7]. Pengujian kebebasan antar variabel ini dapat dilakukan dengan menggunakan hipotesis $H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel tidak berkorelasi), $H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel berkorelasi) dengan menggunakan persamaan (2),

$$\chi^2 = -\left\{ m-1 - \frac{2p+5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (2)$$

variabel dikatakan saling berkorelasi pada kasus multivariat jika menggunakan taraf signifikan α nilai $\chi_{hitung}^2 > \chi_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}^2$, dimana p merupakan variabel kualitas dan m merupakan jumlah karakteristik kualitas, sedangkan \mathbf{R} adalah matriks korelasi antar variabel.

B. Peta Kendali Variabel

Peta kendali variabel merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* dan variabilitas dari karakteristik kualitas seperti volume, berat, dimensi, diameter dan lain sebagainya yang dapat diukur [8]. Pada kasus yang melibatkan dua atau lebih variabel yang saling berhubungan digunakan peta kendali multivariat, salah satunya peta kendali T^2 Hotelling.

1) Peta Kendali Improved Generalized Variance Individu

Peta kendali *improved generalized variance* individu merupakan peta kendali multivariat untuk mengendalikan variabilitas proses dengan subgrup $n = 1$ [9]. Nilai statistik *frobenius norm* yang digunakan untuk menghitung titik pengamatan adalah sebagai berikut,

$$F_{m-1} = \sqrt{\text{Tr}(\mathbf{D}^2)} \quad (3)$$

Dimana $\mathbf{D} = \mathbf{SS}_{k+1} - \mathbf{SS}_k$
 \mathbf{SS}_k adalah matriks dengan $k = m$ dan $k = m - 1$ yang ditampilkan dalam persamaan (4),

$$\mathbf{SS}_k = \sum_{i=1}^k (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_k) (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_k)^T \quad (4)$$

Maka

$$\mathbf{SS}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{1,1} \\ \mathbf{X}_{1,2} \\ \vdots \\ \mathbf{X}_{k,j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{1,1} & \mathbf{X}_{1,2} & \dots & \mathbf{X}_{k,j} \end{bmatrix}$$

dengan $\bar{\mathbf{X}}_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{X}_{i,j}$ dimana $k = 1, 2, 3, \dots, m$

jika $k = 1$, maka $k = m$ dan $k = 2, 3, \dots$, maka $k = m + 1$.

Batas kendali untuk peta kendali *improved generalized variance* individu mengacu pada *successive difference* yaitu selisih antar vektor pengamatan secara berturut pada observasi individu sehingga dengan rumus $\mathbf{X}_{i+1} - \mathbf{X}_i$ maka diperoleh matrik \mathbf{V}_i berikut ini,

$$\mathbf{V}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{v}_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)^T \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)^T \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)^T \end{bmatrix} \quad \text{dengan } i = 1, 2, 3, \dots, m-1$$

Dimana \mathbf{V}_i adalah vektor selisih antara vektor data ke- i dan vektor data ke- $i+1$, maka matriks varians kovariansnya dihitung dengan persamaan (5),

$$\mathbf{S}_2 = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{(m-1)} \quad (5)$$

$$BKA = c \chi_{(\alpha, r)}^2 \quad (6)$$

dimana $c = \frac{\text{Tr}(\mathbf{S}^2)}{\text{Tr}(\mathbf{S})}$ dan $r = \frac{\{\text{Tr}(\mathbf{S})\}^2}{\text{Tr}(\mathbf{S}^2)}$

$$BKB = 0 \quad (7)$$

2) Peta Kendali T^2 Hotelling

Peta kendali T^2 Hotelling merupakan metode yang digunakan untuk mengendalikan rata-rata proses dengan dua atau lebih karakteristik kualitas yang diduga saling berhubungan [8]. Peta kendali multivariat dengan pengamatan individu biasa dijumpai di proses produksi dengan ukuran subgrup $n = 1$, m sampel pengamatan dan p jumlah variabel kualitas. Berikut persamaan untuk menghitung nilai statistik T^2 Hotelling untuk pengamatan individu yang ditampilkan pada persamaan (8), dengan matriks varians kovarians menggunakan persamaan (5),

$$T_i^2 = (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j)^T \mathbf{S}_2^{-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j) \quad (8)$$

Batas kendali peta T^2 Hotelling untuk pengamatan individu adalah sebagai berikut,

$$BKA = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \quad (9)$$

$$BKB = 0 \quad (10)$$

C. Identifikasi Penyebab Out of Control

Pada saat pengontrolan proses jika terjadi sinyal tidak terkendali maka perlu dilakukan identifikasi variabel penyebab terjadinya sinyal tidak terkendali tersebut [8]. Salah satu cara yang digunakan yaitu menguraikan statistik T_i^2 ke dalam komponen-komponen yang menunjukkan kontribusi dari masing-masing variabel individu, $T_{(j)}^2$ merupakan nilai statistik untuk semua variabel proses tanpa variabel ke- j sehingga dijelaskan pada persamaan (11),

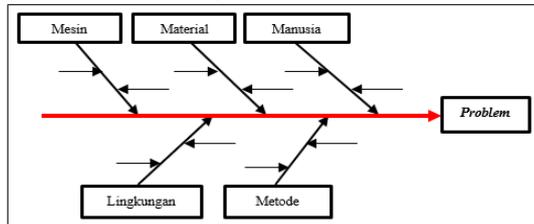
$$h_j = T_i^2 - T_{(j)}^2 ; j = 1, 2, \dots, p \quad (11)$$

h_j adalah sebuah indikator dari kontribusi variabel ke- j untuk keseluruhan statistik. Jika nilai $h_j > \chi_{(\alpha, 1)}^2$ maka

variabel ke- j tersebut adalah penyebab pengamatan yang *out of control*.

D. Diagram Sebab – Akibat

Suatu cacat, kesalahan atau masalah telah diidentifikasi dan dipisahkan maka selanjutnya menganalisa potensi masalah yang tidak diinginkan. Diagram sebab – akibat merupakan alat yang digunakan untuk mencari atau menganalisa penyebab timbulnya masalah sehingga memudahkan cara mengatasinya [8].



Gambar 1. Diagram Sebab - Akibat

E. Penetapan Indeks Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses adalah suatu teknik statistika yang tujuannya untuk menganalisis variabel yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengurangi variabilitas. Suatu proses dikatakan bekerja dalam kondisi kapabel apabila proses produksi dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi dan mempunyai akurasi dan presisi yang tinggi [10].

$$Cp^* = \frac{K}{\chi^2_{\alpha, df}} \left(\frac{(u-1)p}{S} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

Dimana u adalah jumlah pengamatan yang sudah terkendali, p merupakan karakteristik kualitas,

$$K = (\mathbf{X}_i - \xi_j)^T \mathbf{V}_0^{-1} (\mathbf{X}_i - \xi_j)$$

$$\mathbf{V}_0^{-1} = \text{invers matriks varians kovarians}$$

$$\xi = \frac{1}{2} (\mathbf{BSA} + \mathbf{BSB})$$

$$S = \sum_{i=1}^m (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j)^T \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{X}_{ij} - \bar{\mathbf{X}}_j)$$

$$\mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{X}_{ij}^T \mathbf{X}_{ij})^{-1}$$

$\chi^2_{\alpha, df}$ = Chi-Square dengan α = tingkat signifikansi yang besarnya 0,0027 dan df adalah serajat bebas yang besarnya sama dengan karakteristik kualitas.

Jika $Cp^* > 1$, artinya tingkat akurasi dan presisi tinggi. Maka sebaran data pengamatan berada dalam batas spesifikasi.

F. Transformator Hermetically Sealed 100 kVA

Transformator *Hermetically Sealed* 100 kVA adalah transformator penaik atau penurun dengan sirip atau radiator selaku pendingin dan dibungkus dalam tanki berisi minyak/oli. Transformator *Hermetically Sealed* buatan PT. X umumnya digunakan di industri dan bangunan komersial [11]. Transformator *Hermetically Sealed* 100 kVA ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Transformator Hermetically Sealed 100 kVA

Proses produksi transformator di PT.X terdiri dari 2 bagian inti, yaitu proses bagian dalam transformator (*inner*) dan bagian luar transformator (*outer*). Pada proses *inner* memproduksi bagian dalam transformator yang merupakan kumparan (*core*) yang menghasilkan kapasitas dan tegangan, sedangkan proses *outer* memproduksi bagian luar yang berupa tank transformator yang bekerja secara parallel.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Penelitian ini dilakukan di PT. X dengan menggunakan data sekunder yaitu data variabel kualitas pengukuran karakteristik produk transformator *hermetically sealed* 100 kVA. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah produk transformator Bulan Desember 2015, dimana jumlah yang di produksi pada bulan tersebut sebanyak 115 transformator. Berikut ini adalah variabel penelitian yang digunakan.

1) Rugi-Rugi Inti Besi (X_1)

Rugi-rugi inti besi (WF) adalah kerugian pada transformator yang dapat mengurangi energi dan daya yang disebabkan oleh rugi-rugi histerisis dan rugi-rugi *eddy current* dari inti besi dengan satuan *watt*.

2) Arus Mengalir Tanpa Beban (X_2)

Arus yang mengalir tanpa beban (I_0) merupakan pengukuran besarnya arus yang mengalir pada kumparan primer transformator yang ditimbulkan oleh rugi-rugi di inti besi dengan satuan *ampere*.

3) Rugi-Rugi Tembaga (X_3)

Rugi-rugi tembaga (WCu) adalah rugi-rugi pada tembaga yang digunakan untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang menimbulkan panas bila kumparan dialiri arus dengan satuan *watt*.

4) Impedansi (X_4)

Impedansi (I_z) yang satuannya dinyatakan dengan persentase digunakan untuk menggambarkan besarnya tegangan nominal terminal (tegangan turun) untuk melayani arus *full load* (beban penuh) selama kondisi *short circuit*.

Tabel 1 adalah batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan untuk karakteristik transformator *hermetically sealed* 100 kVA,

TABEL 1. STANDAR KUALITAS TRANSFORMATOR

Standart Type Test	
Variabel	Batas Spesifikasi
WF (X_1)	194±10%
I_0 (X_2)	0.3±30%
WCu (X_3)	1450±10%
I_z (X_4)	4.02±10%

B. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut ini,

1. Membuat deskripsi tentang hasil pengukuran karakteristik kualitas produksi transformator,
2. Pemeriksaan asumsi distribusi multivariat normal,
3. Menguji korelasi antar variabel kualitas,
4. Membuat peta kendali *improved generalized variance individu*,
5. Membuat peta kendali T^2 Hotelling,
6. Mengidentifikasi penyebab *out of control* dengan menggunakan dekomposisi nilai statistik uji T^2 Hotelling,

7. Mengidentifikasi penyebab *out of control* dengan diagram sebab akibat.
8. Menentukan indeks kapabilitas proses.
9. Membuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Variabel Kualitas Transformator

Langkah pertama sebelum melakukan analisis kapabilitas proses adalah mendeskripsikan karakteristik kualitas yang ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL 2. DESKRIPSI KARAKTERISTIK KUALITAS TRANSFORMATOR

Variabel	Mean	Var	Min	Max	Batas Spesifikasi
WF	201.02	10.01	191.33	211.01	174.6-213.4
I ₀	0.265	0.000104	0.2255	0.30061	0.21-0.39
Wcu	1401	834	1329.9	1457.2	1305-1595
I _z	4.0052	0.00374	3.8293	4.1481	3.618-4.422

Berdasarkan hasil analisis statistika deskriptif diketahui bahwa hasil pengukuran karakteristik ke empat variabel kualitas transformator WF, I₀, WCU dan I_z memiliki rata-rata yang berada di antara batas spesifikasi yang ditetapkan oleh perusahaan, tetapi pada variabel WF dan I₀ berdasarkan nilai maksimum dan minimum terlihat bahwa pada Bulan Desember 2015 terdapat produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA yang hasil pengukuran karakteristik kualitasnya mendekati batas spesifikasi yang ditetapkan.

B. Pengujian Asumsi

Pengendalian kualitas dengan peta kendali multivariat untuk memonitoring variabilitas proses dan *mean* proses sebelumnya dilakukan pemeriksaan data berdistribusi multivariat normal dan uji korelasi antar variabel kualitas.

1) Distribusi Multivariat Normal

Untuk memeriksa apakah data produksi transformator berdistribusi multivariat normal dilihat bahwa proporsi nilai $d_i^2 \leq \chi_{(4,0.5)}^2$ (3.356) sebesar 0.5652 (56,52%) sehingga dapat disimpulkan bahwa data pengukuran karakteristik kualitas produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015 memenuhi asumsi distribusi multivariat normal.

2) Korelasi Antar Variabel Kualitas

Hasil korelasi transformator *hermetically sealed* 100 kVA didapatkan nilai χ_{hitung}^2 sebesar 23.194 dan p-value sebesar 0.001, sehingga diperoleh kesimpulan bahwa produksi transformator Bulan Desember 2015 saling berkorelasi secara multivariat karena dengan menggunakan taraf signifikan α (0.0027) nilai χ_{hitung}^2 (23.194) > $\chi_{(0,0027;6)}^2$ (20.062).

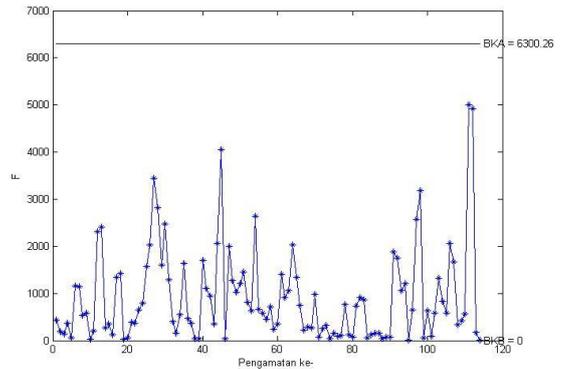
C. Pengendalian Kualitas Terhadap Variabilitas dan Mean Proses Transformator

Suatu proses dikatakan kapabel ketika proses tersebut dalam keadaan terkendali dan masuk pada batas spesifikasi. Oleh karena itu, sebelum melakukan analisis kapabilitas proses maka membuat peta kendali *improved generalized variance* individu dan peta kendali T^2 Hotelling untuk pengendalian terhadap variabilitas dan *mean* proses transformator.

1) Pengendalian Kualitas Terhadap Variabilitas Proses

Pengendalian kualitas terhadap variabilitas dengan membuat peta kendali *improved generalized variance*

individu menggunakan data proses produksi transformator Bulan Desember 2015 dimana terdapat 115 transformator.

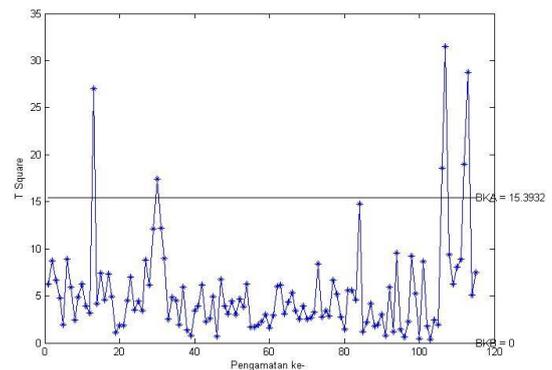


Gambar 3. Peta Kendali Improved Generalize Variance Individu Transformator Hermetically Sealed 100 kVA

Berdasarkan Gambar 3. diketahui bahwa monitoring terhadap variabilitas proses produksi transformator sudah terkendali secara statistik, hal ini ditunjukkan seluruh titik-titik pengamatan tidak ada yang keluar dari Batas Kendali Atas sebesar 6300.26 dan Batas kendali Bawah sebesar 0, sehingga batas kendali tersebut yang dipilih sebagai pengendalian karakteristik kualitas transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015.

2) Pengendalian Kualitas Terhadap Mean Proses

Hasil analisis proses menggunakan peta kendali T^2 Hotelling yang ditampilkan pada Gambar 4. diketahui bahwa proses produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA belum terkendali secara statistik dalam *mean* prosesnya, hal ini ditunjukkan dengan menggunakan Batas Kendali Atas sebesar 15.3932 dan Batas Kendali Bawah sebesar 0 belum dapat digunakan untuk pengendalian, karena terdapat produk transformator pada pengamatan ke - 13, ke - 30, ke- 106, ke-107, ke-112 dan ke-113 keluar dari batas kendali.



Gambar 4. Peta Kendali T^2 Hotelling Transformator Hermetically Sealed 100 kVA

3) Identifikasi Penyebab Out of Control

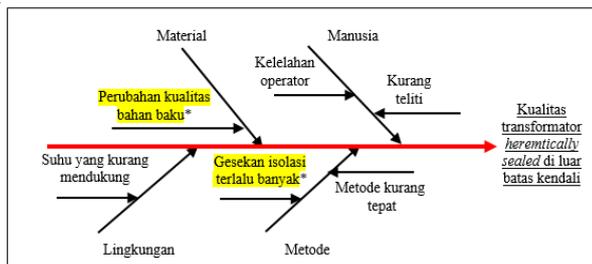
Berdasarkan hasil pengendalian kualitas terhadap *mean* proses diketahui bahwa terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali, sehingga dilakukan identifikasi untuk mengetahui faktor penyebab tersebut.

TABEL 3 IDENTIFIKASI PENYEBAB OUT OF CONTROL

Obs Ke-	T_i^2	Variabel kualitas	$T_{(j)}^2$	$h_j = T_i^2 - T_{(j)}^2$	$\chi_{(0,0027;1)}^2$
13	27.012	WF	7.58	19.432*	8.9998
		I ₀	15.44	11.572*	
		WCU	22.43	4.582	
		I _z	27.01	0.002	

30	17.415	WF	17.4	0.0157
		I_0	15.16	2.2557
		WCu	7.7	9.7157*
		I_z	6.68	10.7357*
106	18.547	WF	18.22	0.327
		I_0	2.12	16.427*
		WCu	18.31	0.237
		I_z	18.15	0.397
107	31.446	WF	30.81	0.6366
		I_0	12.63	18.8166*
		WCu	30.61	0.8366
		I_z	30.16	1.2866
112	18.997	WF	7.72	11.277*
		I_0	14.21	4.787
		WCu	11.78	7.217
		I_z	18.98	0.017
113	28.769	WF	22.83	5.939
		I_0	2.12	26.649*
		WCu	28.27	0.499
		I_z	28.57	0.199

Tabel 3. merupakan hasil penelusuran variabel penyebab pengamatan yang tidak terkendali terhadap *mean* proses pada pengamatan ke- 13, ke-30, ke- 106, ke-107, ke- 112 dan ke-113 dan diketahui bahwa faktor penyebab utama pengamatan keluar dari batas kendali adalah variabel WF (rugi-rugi inti besi) dan I_0 (arus mengalir tanpa beban). Variabel karakteristik tersebut tidak terkendali disebabkan adanya perubahan kualitas bahan baku yang digunakan dan terdapat gesekan pada isolasi yang terlalu sering. Selanjutnya berdasarkan informasi perusahaan faktor penyebab transformator mengalami cacat ditampilkan pada diagram sebab – akibat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Sebab - Akibat Transformator *Hermetically Sealed* 100 kVA

Pengukuran karakteristik kualitas transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015 yang menyebabkan titik-titik pengamatan keluar dari batas kendali ada empat faktor diantaranya faktor manusia, material, metode dan lingkungan. Variabel WF (rugi-rugi inti besi) dan I_0 (arus yang mengalir tanpa) yang menjadi penyebab utama pengendalian *mean* proses terkendali. Faktor penyebab tersebut dikarenakan terdapat perubahan kualitas bahan baku yang digunakan dan pada proses pelapisan/pemberian sekat antara sisi HV (*High Voltage*) dan LV (*Low Voltage*) terlalu sering terjadi gesekan pada isolasi, sehingga membuat rugi-rugi di inti besi menjadi besar.

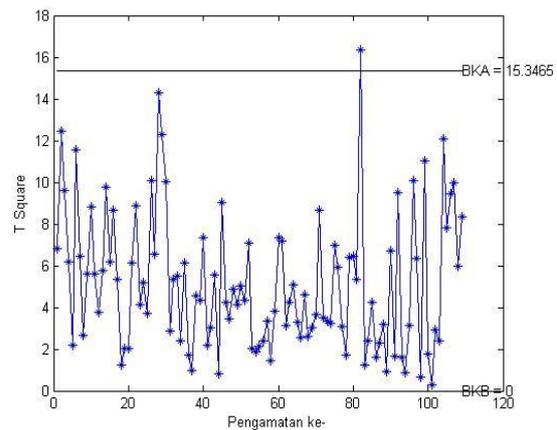
4) Pengendalian Kualitas Setelah Identifikasi Penyebab

Faktor penyebab pegamatan tidak terkendali telah diketahui, selanjutnya melakukan pengendalian kembali tanpa menggunakan pengamatan ke – 13, ke- 30, ke- 106,

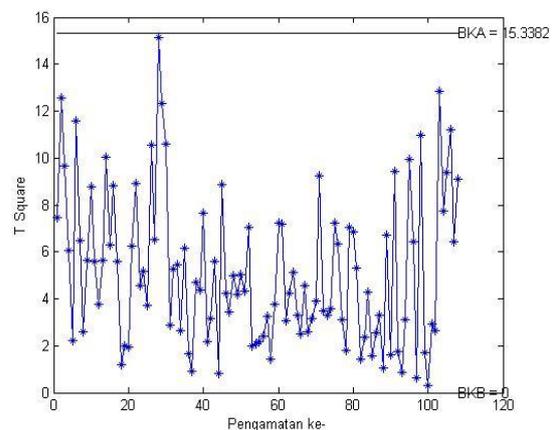
ke- 107, ke – 112 dan ke – 113 yang di tampilkan pada Gambar 6.

Pengendalian kualitas transformator yang ditampilkan pada Gambar 6. menunjukkan bahwa masih terdapat titik pengamatan yang keluar batas kendali yaitu pengamatan ke- 82 dengan Batas Kendali Atas sebesar 15.3465 dan Batas Kendali Bawah 0. Faktor yang menjadi penyebab pengamatan ke - 82 tidak terkendali adalah I_0 (arus yang mengalir tanpa beban). Selanjutnya melakukan pengendalian kembali tanpa menggunakan pengamatan ke – 82 dan hasilnya ditampilkan pada Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 hasil pengendalian kualitas transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015 setelah menghilangkan titik pengamatan yang berada diluar batas kendali diketahui bahwa karakteristik kualitas transformator sudah terkendali secara statistik pada *mean* proses dengan Batas Kendali Atas sebesar 15.3382 dan Batas Kendali Bawah sebesar 0, sehingga batas kendali tersebut yang dipilih sebagai pengendalian karakteristik kualitas tranformator



Gambar 6. Peta Kendali T^2 Hotelling Tanpa Pengamatan Ke - 13, Ke – 30, Ke-106, Ke- 107, Ke – 112, dan Ke – 113



Gambar 7. Peta Kendali T^2 Hotelling Tanpa Pengamatan Ke - 82

D. Indeks Kapabilitas Proses

Proses produksi transformator sudah terkendali selanjutnya melakukan analisis kapabilitas proses secara multivariat. Hasil analisis kapabilitas proses diketahui indeks Cp^* transformator sebesar 4,7137 yang menunjukkan bahwa secara multivariat proses sudah kapabel atau dapat dikatakan proses produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA sudah terkendali secara statistik, memenuhi batas spesifikasi dan memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi, karena nilai $Cp^* > 1$.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengendalian kualitas proses produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA Bulan Desember 2015 belum terkendali secara statistik pada *mean* prosesnya. Faktor utama yang menyebabkan pengamatan keluar dari batas kendali adalah variabel rugi-rugi inti besi (WF) dan arus yang mengalir tanpa beban (I_0). Proses pengendalian dilakukan kembali tanpa menggunakan tujuh pengamatan yang keluar batas kendali dan diketahui proses sudah terkendali. Selanjutnya analisis kapabilitas dilakukan dan menghasilkan indeks kapabilitas proses sebesar 4.7137. Kesimpulannya bahwa proses produksi transformator *hermetically sealed* 100 kVA sudah kapabel.

Saran yang dapat diberikan untuk perusahaan yaitu lebih mempertimbangkan dalam melakukan pengendalian kualitas produksi dengan melihat faktor penyebab diantaranya karakteristik WF dan I_0 . Perusahaan lebih memperhatikan faktor material yang berbeda kualitasnya dan gesekan isolasi yang terlalu sering sebelum proses pelapisan/pemberian sekat antara sisi HV (*High Voltage*) dan LV (*Low Voltage*) yang menimbulkan rugi-rugi inti besi menjadi besar. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu lebih banyak mengumpulkan sampel produksi tranformator agar asumsi distribusi multivariat normal terpenuhi secara inferensia dan menggunakan peta kendali yang lebih sensitif pada pengendalian terhadap *mean* proses.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lazuardi, H. (2014). Kebutuhan Listrik Nasional Capai 386,7 TWh Hingga 2022. (Online), (<http://m.bisnis.com/industri/read/20140322/44/212880/kebutuhan-listrik-nasional-capai-3867-twh-hingga-2022>). Diakses 17 Januari 2016).
- [2] Hamsah. (2011). Perbaikan Transformator. (Online), (http://gurulistrik.blogspot.co.id/2011/01/perbaikan-transformator_19.html). Diakses 18 Januari 2016).
- [3] Gunadha, R. (2013). Trafo Made in Surabaya Ternyata Sudah Mendunia. (Online), (<http://www.tribunnews.com/regional/2013/10/23/trafomade-in-surabaya-ternyatasudahmendunia>). Diakses 15 Januari 2016).
- [4] Rahmanto, D.D. (2010). *Perbaikan Sistem Produksi Transformator untuk Meminimasi Waste (Studi Kasus: PT. Bambang Djaja)*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri ITS : Surabaya.
- [5] Gultom, S. (2013). Studi Pengendalian Mutu dengan Menggunakan Pendekatan Lean *six sigma* pada PT. XYZ. *E-Jurnal Teknik Industri FT USU* Vol 3, No. 2. Pp.23-30. (Online), (<http://202.0.107.5/index.php/jti/article/view/4906/pdf>). Diakses 15 Januari 2016).
- [6] Johnson, R.A & Wichern D.W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis, Sixth Edition*. PT. Prentice Hall, Upper Saddle River: New Jersey.
- [7] Morrison, D. F. (1990). "*Multivariate Statistical Methods*". Second edition. New York: McGraw-Hill, 1990.
- [8] Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. John Wiley & Sons: United States of America.
- [9] Djauhari, M.A. (2010). A Multivariate Process Variability Monitoring Based on Individual Observation. *International Journal of Engineering &Tecnology*. Vol.4, No.10, Pp. 91-96.
- [10] Kotz, S & Johnson, N.L. (1993). *Process Capability Indices First Edition*. Chapman and Hall: London.
- [11] (B&D). (2011). Trafo Hermetically Sealed. (Online), (http://www.bambangdjaja.com/ina/detilproduktransformer1311082011094913_hermetically-sealed-transformer/). Diakses 25 Januari 2016).