

Analisis Pengendalian Kualitas Air Limbah Industri di Pabrik Gula Tjoekir Kabupaten Jombang

Ihya Putty ulinnuha⁽¹⁾, Haryono⁽²⁾

Jurusan Statistika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : tshuya12@gmail.com⁽¹⁾

ABSTRAK

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat tidak dapat dipisahkan dari masalah pencemaran lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Limbah pabrik gula berupa limbah padat, cair, gas, dan B3. Pabrik Gula Tjoekir merupakan salah satu unit pabrik gula yang dimiliki oleh PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X) yang berada di Desa Cukir, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Sebagai pabrik yang terletak di daerah padat penduduk, Pabrik Gula Tjoekir harus benar-benar memperhatikan kualitas limbah yang dihasilkan agar dampak yang ditimbulkan tidak terlalu besar terhadap masyarakat sekitar. Limbah cair dikatakan memenuhi kualitas jika seluruh karakteristik kualitasnya telah berada diantara batas spesifikasi. Penelitian ini menggunakan data hasil pengamatan limbah cair Pabrik Gula Tjoekir periode giling tahun 2015 yaitu bulan Juni sampai Oktober 2015. Analisis statistika deskriptif digunakan untuk mengetahui karakteristik limbah yang dihasilkan. Untuk mengetahui Indeks Kapabilitas Proses maka digunakan diagram kendali terlebih dahulu untuk mengetahui proses sudah terkendali secara statistik. Diagram kendali T^2 Hotelling untuk mengendalikan mean dari proses, sedangkan Diagram kendali Generalized Variance untuk mengendalikan variabilitas proses. Hasil yang didapatkan yaitu pada diagram kendali masih ada pengamatan yang keluar batas kendali artinya air limbah yang dihasilkan belum terkendali secara multivariat dengan penyebab tingginya angka karakteristik kualitas adalah faktor mesin, sumber daya manusia, material, metode dan kondisi lingkungan, sehingga harus diadakan perbaikan pada proses produksi gula untuk menurunkan angka tersebut. Sedangkan Indeks Kapabilitas menunjukkan proses belum kapabel.

Kata kunci : Air Limbah, Generalized Variance, Indeks Kapabilitas Proses, Statistika Deskriptif, T^2 Hotelling

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat tidak dapat dipisahkan dari masalah pencemaran lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Limbah adalah hasil samping dari proses produksi yang tidak digunakan dan dapat berbentuk benda padat, cair, gas, debu, suara, getaran dan lain-lain yang dapat menimbulkan pencemaran.[1] Berbagai industri saat ini termasuk gula, membuang limbah ke sungai tanpa ada pengolahan atau sudah dilakukan pengolahan namun belum maksimal atau belum memenuhi baku mutu limbah cair yang sudah ditetapkan oleh pemerintah. Dengan demikian limbah tersebut dapat mengganggu lingkungan sekitar.[2]

Pabrik Gula Tjoekir merupakan salah satu unit pabrik gula yang dimiliki oleh PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X). Pabrik Gula Tjoekir berada di Desa Cukir, Kecamatan Diwek, Jombang, Jawa Timur. Produk utama dari PT Perkebunan Nusantara X adalah gula yang diproduksi menggunakan tebu sebagai bahan baku yang dihasilkan dengan memanfaatkan proses defekasi-sulfatasi.[3] Sejalan dengan permasalahan yang terjadi di Pabrik Gula Tjoekir diketahui bahwa pengolahan dari limbah pabrik dirasa kurang mendapatkan penanganan yang tepat. Limbah

padat, cair dan gas masih membayangi warga sekitar pabrik seperti sungai di sekitar pabrik semakin berwarna hitam pekat dan menimbulkan bau yang sangat menyengat yang berakibat masyarakat yang ada di sekitar pabrik merasa terganggu dengan adanya bau tersebut. Sebagai salah satu pabrik yang terletak di daerah padat penduduk, Pabrik Gula Tjoekir memerlukan sebuah metode yang bisa digunakan untuk memperhatikan kualitas limbah yang dihasilkan agar dampak yang ditimbulkan tidak terlalu besar terhadap masyarakat sekitar.

Selama ini Pabrik Gula Tjoekir melakukan pengendalian kualitas pada air limbah produksi hanya secara deskriptif pada tiap variabel karakteristik kualitas, dimana hasil pengamatan dibandingkan dengan spesifikasi yang digunakan oleh perusahaan. Padahal ada indikasi hubungan antar karakteristik kualitas pada limbah cair pabrik gula. Jika menggunakan analisis secara deskriptif, hasil analisis tidak mempertimbangkan adanya hubungan tersebut. Oleh karena itu, Pabrik Gula Tjoekir memerlukan sebuah metode yang mempertimbangkan adanya hubungan antar variabel dan bisa digunakan untuk menilai proses dari produksi gula sudah baik atau tidak.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis indeks kapabilitas proses pada air limbah industri Pabrik Gula Tjoekir dan mengidentifikasi penyebab apabila terindikasi adanya proses yang tidak terkendali secara statistik. Data yang digunakan adalah limbah cair selama periode proses giling tahun 2015 yaitu bulan Juni sampai Oktober 2015 agar bisa digunakan sebagai acuan untuk proses giling periode selanjutnya. Fokus masalah yaitu pada air limbah gabungan yang dihasilkan sebelum masuk ke dalam IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Variabel yang digunakan adalah parameter utama yang paling berpengaruh untuk kilang penggilingan tebu dan pemurnian gula yaitu BOD, COD, TSS, dan pH.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Independensi Antar Variabel

Suatu pengamatan dengan p variabel, yaitu X_1, X_2, \dots, X_p dikatakan independen jika matriks korelasi antar variabel sama dengan matriks identitas untuk mengetahui apakah variabel-variabel tersebut saling independen maka digunakan metode Barlett's dengan hipotesis sebagai berikut.[4]

Hipotesis :

$H_0 : \rho = I$ (tidak ada korelasi hubungan antar variabel)

$H_1 : \rho \neq I$ (ada korelasi hubungan antar variabel)

Statistik Uji menggunakan uji *Chi-Square*

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

Dimana :

m = jumlah observasi

p = jumlah variabel

$|R|$ = determinan matriks korelasi

$\chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$ adalah nilai distribusi *chi-square* dengan tingkat signifikansi (α) dan derajat bebas ($\frac{1}{2}p(p-1)$). Variabel dikatakan berkorelasi apabila nilai $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))}$.

Sampel matriks korelasi dapat dianalogikan dengan matriks korelasi seperti pada matriks varian kovarian sebagai berikut.[5]

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{j1} & r_{j2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

untuk

$$r_{jp} = \frac{1}{p-1} \sum_{r=1}^p \left(\frac{x_{jr} - \bar{x}_j}{\sqrt{s_{jj}}} \right) \left(\frac{x_{pr} - \bar{x}_p}{\sqrt{s_{pp}}} \right) \quad (2)$$

dan

$$s_{jj} = (x_{jr} - \bar{x}_j)^2 \quad (3)$$

Dimana :

r_{jp} = nilai korelasi antar variabel

p = banyaknya karakteristik kualitas

m = jumlah pengamatan

R = matriks korelasi dari masing-masing variabel

B. Pemeriksaan Distribusi Multivariat Normal

Multivariat normal merupakan perluasan dari distribusi univariat normal sebagai aplikasi pada variabel-variabel yang memiliki hubungan. Suatu pengamatan X_1, X_2, \dots, X_p mempunyai distribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika mempunyai fungsi densitas sebagai berikut.[6]

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

Untuk mengetahui apakah variabel-variabel tersebut berdistribusi normal multivariat maka dilakukan pemeriksaan asumsi menggunakan persamaan berikut:

$$d_i^2 = (x_{ij} - \bar{x}_j)' S^{-1} (x_{ij} - \bar{x}_j) \quad (4)$$

Nilai invers matriks varian kovarian S yang dapat ditunjukkan pada persamaan (7) merupakan taksiran dari Σ dimana nilai S dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_j^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m-1} \right) \quad (5)$$

s_{ij}^2 dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$s_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{m-1} \quad (6)$$

Sehingga apabila terdapat kurang dari 50% jarak $d_i^2 \leq \chi^2_{(p, 0.05)}$ maka data berdistribusi multivariat normal.

Dimana :

d_i^2 = nilai statistik uji pada pengamatan ke- i

x_{ij} = vektor objek pengamatan ke- i pada variabel ke- j

x_{ik} = vektor objek pengamatan ke- i pada variabel ke- k

$i = 1, 2, \dots, m$ dan m adalah jumlah subgrup

$j = 1, 2, \dots, p$ dan p adalah jumlah karakteristik kualitas

\bar{x}_j = rata-rata pengamatan pada karakteristik kualitas ke- j

\bar{x}_k = rata-rata pengamatan pada karakteristik kualitas ke- k

S^{-1} = invers matriks varian kovarian $S_{p \times p}$

$$S = \begin{bmatrix} s_{11}^2 & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ & s_{22}^2 & \dots & s_{2p} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & s_{pp}^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

C. Diagram Kendali Generalized Variances

Diagram kendali *generalized Variance* digunakan untuk mengontrol varians dari proses. Varians proses digambarkan dari matriks varian kovarian Σ berukuran $p \times p$ dimana elemen diagonal utama adalah varians, elemen yang lain adalah kovarians dari varian proses, dimana determinan dari sampel kovarian matriks secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat. Aproksimasi asimtotik normal digunakan untuk mengembangkan

diagram kendali untuk $|S|$, sehingga dalam menaksir *mean* dan varians dari $|S|$ adalah sebagai berikut.[7]

$$E(|S|) = b_1|\Sigma| \quad (8)$$

dan

$$\text{var}(|S|) = b_2|\Sigma|^2 \quad (9)$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (10)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) [\prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j)] \quad (11)$$

Sehingga batas kendali atas dan bawah diagram kendali untuk $|S|$ adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{|S|}{b_1} (b_1 + \sqrt{3b_2})$$

$$\text{Garis tengah} = |\bar{S}|$$

$$BKB = \frac{|S|}{b_1} (b_1 - \sqrt{3b_2})$$

BKB akan bernilai nol jika hasil perhitungan yang didapat bernilai negatif atau kurang dari nol.

D. Diagram Kendali T^2 Hotelling

Diagram kendali T^2 Hotelling adalah alat yang digunakan untuk mengontrol suatu proses produksi dan mengendalikan vektor rata-rata dari proses multivariat. Diagram kendali T^2 Hotelling mempunyai dua jenis yaitu diagram kendali T^2 Hotelling untuk data subgrup dan diagram kendali T^2 Hotelling untuk data individual. Diagram kendali T^2 Hotelling individual digunakan apabila ukuran subgrup sampel (n) yang digunakan adalah satu ($n=1$).[7]

Misalkan $X = \{x_i\}$ adalah matriks acak berukuran m dan berdistribusi normal p -variat, dengan fungsi kepadatan normal multivariat dari X dinotasikan oleh $X \sim N_p(\mu, \Sigma)$ dengan $i = 1, 2, \dots, m$. Dengan matriks data sebagai berikut.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mp} \end{bmatrix}$$

Dimana m menyatakan banyak sampel dan p menyatakan banyaknya karakteristik kualitas. Pada diagram kendali T^2 Hotelling individu, data yang dipakai akan dihitung vektor rata-rata dan matriks kovariansnya dengan menggunakan perhitungan kovarians sebagai berikut.

$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_j)(X_i - \bar{X}_j)' \quad (12)$$

Setelah menghitung nilai matriks kovarians, selanjutnya menghitung nilai statistik T^2 Hotelling individual dengan persamaan.

$$T_i^2 = (x_i - \bar{x}_j)' S^{-1} (x_i - \bar{x}_j), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, p \quad (13)$$

Sedangkan batas kendali diagram kendali T^2 Hotelling individu adalah sebagai berikut:

Pada phase I

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

$$BKB = 0$$

Pada phase II

$$BKA = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} f_{\alpha, p, (m-p)}$$

$$BKB = 0$$

Dimana:

m = banyaknya pengamatan

p = banyaknya karakteristik kualitas

Dengan struktur data diagram kendali T^2 Hotelling adalah sebagai berikut..

E. Kapabilitas Proses Multivariat

Kapabilitas proses merupakan kemampuan suatu proses untuk beroperasi sesuai dengan standar yang ditentukan. Salah satu analisis kapabilitas proses adalah analisis kapabilitas proses multivariat, dalam penerapannya diperlukan syarat bahwa diagram kendali multivariat sudah terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi, indeks kapabilitas proses adalah sebagai berikut.[8]

Proses dikatakan kapabel jika :

1. Proses sudah dalam keadaan terkendali
2. Proses memenuhi batas spesifikasi
3. Tingkat presisi dan akurasi yang tinggi

$$Cp = \frac{k}{\chi_{p,0.9973}^2} \left[\frac{(v-1)p}{S} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

Dimana v adalah jumlah pengamatan pada diagram kendali yang telah terkendali, p adalah jumlah karakteristik kualitas, $\chi_{p,0.9973}^2$ adalah batas produk yang sebenarnya dengan probabilitas ketidaksesuaian 0.27%.

$$S = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^T A^{-1} (x_i - \bar{x}) \quad (15)$$

Nilai A^{-1} merupakan invers dari matrik $(x_i^T x_i)$ dimana perhitungan K ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$k^2 = (\bar{x}_i - \xi_j)^T V_0^{-1} (\bar{x}_i - \xi_j) \quad (16)$$

Dimana :

V_0^{-1} = invers matriks varian kovarian

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

BSA = Batas spesifikasi atas yang sudah ditentukan

BSB = Batas spesifikasi bawah yang sudah ditentukan

Adapun ketentuan yang digunakan untuk interpretasi nilai Cp adalah sebagai berikut.

- a. Jika $Cp = 1$ maka proses dalam keadaan cukup baik
- b. Jika $Cp > 1$ maka proses dalam keadaan baik
- c. Jika $Cp < 1$ maka sebaran data pengamatan berada di luar batas spesifikasi

F. Limbah Cair Pabrik Gula

Menurut keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.51/MENLH/10/1995, limbah cair adalah limbah dalam wujud cair yang dihasilkan oleh kegiatan industri dan dibuang ke lingkungan. Pada limbah cair terdapat bahan organik yang dapat bersifat toksik di perairan. Parameter utama untuk kilang penggilingan tebu dan pemurnian gula adalah BOD, COD, TSS, dan pH yang merupakan derajat keasaman suatu zat dengan spesifikasi pH normal air adalah 6 - 8. Parameter sekunder adalah temperatur, nitrogen, minyak dan lemak, sulfida, dan padatan keseluruhan.[9]

Tabel 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Gula

Parameter	Kadar Maksimum (Mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (g/ton)
BOD	60	30
COD	100	50
TSS	50	25
Minyak dan Lemak	5	2.5
pH	6.0 – 9.0	
Kuantitas Limbah Maksimum	19.500 m ³ per hari tebu yang diolah	

III. METODOLOGI PENELITIAN

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah karakteristik kualitas limbah cair proses produksi gula yaitu BOD, COD, TSS dan pH dimana spesifikasinya menurut standar baku mutu limbah cair yang diputuskan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup yang dapat dilihat pada tabel 1. Variabel kualitas yang diukur adalah BOD, COD, TSS, dan pH, dimana subgrup yang digunakan adalah hari pada saat pengukuran variabel kualitas. Untuk melihat kualitas limbah dilakukan pengamatan setiap 5 hari sekali sehingga sampel yang digunakan adalah pengamatan secara individu. Jika ada sebanyak p variabel dan pengamatan dilakukan selama m kali dalam 1 periode giling tahun 2015 maka x_{ij} adalah pengamatan hari ke- i pada variabel ke- j dengan $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, p$, \bar{x}_j merupakan rata-rata pada variabel ke- j , dan s_j^2 merupakan varians pada variabel ke- j .

Keempat variabel kualitas tersebut semuanya memiliki hubungan. Semakin tinggi nilai TSS maka semakin tinggi nilai BOD dan COD karena semakin banyaknya padatan tersuspensi maka air semakin keruh sehingga semakin tinggi kebutuhan oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik. Sedangkan semakin tinggi nilai BOD maka kadar COD juga semakin tinggi karena ada indikasi penggunaan oksigen untuk mengurai bahan organik. pH berhubungan dengan respirasi organisme di dalam air. Semakin banyak CO₂ yang dihasilkan pada saat respirasi, maka pH air semakin turun (cenderung asam). pH rendah bisa menyebabkan adanya

penurunan oksigen terlarut dan konsumsi oksigen menjadi menurun. Sehingga semakin rendah pH, nilai BOD dan COD semakin tinggi.[10]

Tabel 2 Struktur Data Pengamatan

Sampel (i)	Variabel Kualitas (j)				T _i ²
	pH	BOD	COD	TSS	
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	T ₁ ²
2	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	T ₂ ²
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	X _{20,1}	X _{20,2}	X _{20,3}	X _{20,4}	T ₂₀ ²
Mean	\bar{x}_1	\bar{x}_2	\bar{x}_3	\bar{x}_4	
Varians	s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	

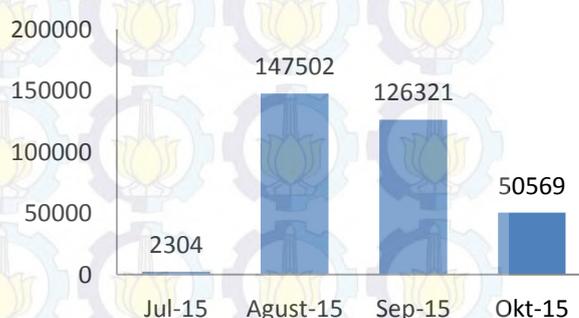
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Gula Tjoekir Periode Giling Tahun 2015



Gambar 1 Gula yang di Produksi Tahun 2015

Gambar 1 menunjukkan banyaknya gula yang di produksi Pabrik Gula Tjoekir selama periode tahun giling 2015. Dapat diketahui bahwa pada bulan Juni 2015, gula yang berhasil di produksi sebanyak 93556,7 ton. Pada bulan Juli, gula yang di produksi sebanyak 90942,8 ton, mengalami penurunan jika dibandingkan dengan bulan sebelumnya, hal ini dikarenakan pada bulan tersebut terdapat libur Hari Raya Islam. Pada bulan Agustus sebanyak 116829,3 ton, bulan September 98304,9 ton, dan bulan Oktober 39332,5 ton. Produksi bulan Oktober lebih sedikit jika dibandingkan dengan bulan-bulan sebelumnya, hal ini dikarenakan pabrik hanya beroperasi selama setengah bulan dan ditandai dengan berakhirnya musim giling tahun 2015.



Gambar 2 Debit Air Limbah Tahun 2015

Gambar 2 menunjukkan debit air limbah gabungan yang dihasilkan selama periode giling Pabrik Gula Tjoekir tahun 2015. Pada bulan Juni air

limbah yang dihasilkan sebanyak 2325 m³, bulan Juli 2078 m³, bulan Agustus 147502 m³, bulan September 126321 m³, dan bulan Oktober sebanyak 50569 m³.

Tabel 3 Karakteristik Kualitas Limbah Cair

Variabel	Mean	Varians	Minimum	Maksimum
pH	7,039	0,342	4,950	7,620
BOD	183,3	11354,3	9,2	425,3
COD	513,1	80596,4	34,5	968,8
TSS	77,1	8764,5	10,0	390,0

Tabel 3 menunjukkan hasil statistika deskriptif dari tiap variabel karakteristik kualitas pada limbah cair Pabrik Gula Tjoekir periode giling tahun 2015. Pada variabel pH didapatkan rata-rata sebesar 7,039, varians 0,342 dengan pH minimum adalah 4,950 dan pH maksimum 7,620. Variabel kedua adalah BOD, didapatkan hasil rata-rata nilai BOD yaitu 183,3 mg/l dengan varians sebesar 11354,3 dan nilai minimum serta maksimumnya adalah 9,2 mg/l dan 425,3 mg/l. Untuk karakteristik COD diketahui rata-rata kadar COD adalah 513,1 mg/l, varians 80596,4 mg/l, dengan kadar minimum sebesar 34,5 mg/l dan kadar maksimumnya adalah 968,8 mg/l. Yang terakhir adalah variabel TSS yaitu padatan tersuspensi, didapatkan hasil rata-rata sebesar 77,1 mg/l dengan varians sebesar 8764,5, sedangkan untuk nilai minimumnya adalah 10 mg/l dan maksimumnya 390 mg/l

Sesuai dengan peraturan gubernur tentang baku mutu air limbah industri gula yang digunakan oleh Pabrik Gula Tjoekir sebagai acuan untuk menetapkan kualitas limbah cair. Diketahui bahwa dengan batas spesifikasi pH air limbah adalah 6 sampai 9, masih ada pengamatan air limbah pada tahun 2015 yang memiliki nilai pH di bawah batas spesifikasi yaitu sebesar 4,95. Sedangkan pada karakteristik kualitas BOD dengan spesifikasi maksimum 60 mg/l, COD 100 mg/l, dan TSS sebesar 50 mg/l, didapatkan hasil selama periode giling banyak dari pengamatan yang berada di atas kadar maksimum dibuktikan dengan nilai rata-rata dari BOD, COD, dan TSS yang tinggi. Sehingga hal ini menunjukkan adanya masalah yang terjadi pada proses produksi gula tahun 2015 sehingga menyebabkan kandungan karakteristik kualitas tidak sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

B. Uji Independensi

Uji independensi digunakan untuk mengetahui hubungan antara karakteristik kualitas limbah cair gabungan di Pabrik Gula Tjoekir selama periode giling Tahun 2015.

$H_0 : \rho = I$ (tidak ada korelasi antar BOD, COD, TSS, dan pH)

$H_1 : \rho \neq I$ (ada korelasi antar karakteristik kualitas yaitu BOD, COD, TSS dan pH)

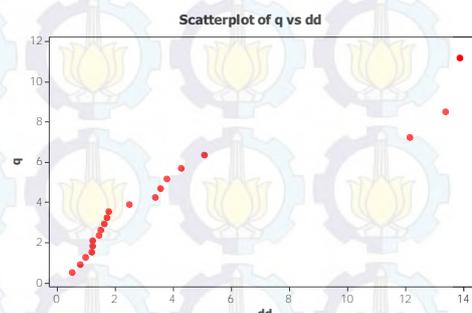
Jika ditetapkan taraf signifikan (α) sebesar 0,05 dengan daerah penolakannya adalah tolak H_0 jika χ^2_{hitung} lebih dari χ^2 tabel. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai χ^2 hitung (33,847) lebih

besar daripada nilai χ^2 tabel (12,592) sehingga dapat diputuskan tolak H_0 dan disimpulkan bahwa ada korelasi antar karakteristik kualitas limbah cair yaitu BOD, COD, TSS dan pH. Sehingga bisa dilanjutkan analisis menggunakan diagram kendali multivariat.

C. Uji Distribusi Multivariat Normal

Berdasarkan data karakteristik kualitas limbah cair yang dihasilkan Pabrik Gula Tjoekir selama Periode Giling 2015, dilakukan pengujian distribusi normal multivariat yang digunakan untuk mengetahui apakah data yang diambil sudah memenuhi asumsi berdistribusi normal multivariat atau tidak.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai t sebesar 0.6 yang lebih dari nilai 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas limbah cair yang dihasilkan Pabrik Gula Tjoekir selama Periode Giling 2015 sudah mengikuti distribusi multivariat normal. Cara lain untuk melihat apakah data tersebut mengikuti distribusi multivariat normal dapat dilakukan identifikasi secara visual menggunakan *scatterplot*.

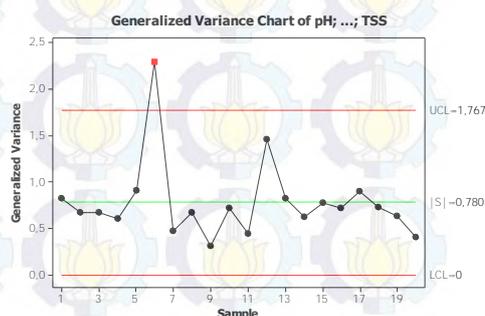


Gambar 3 Scatterplot Multivariat Normal

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa plot-plot yang terbentuk sudah mendekati garis normal, sehingga dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas limbah cair yang dihasilkan Pabrik Gula Tjoekir selama Periode Giling 2015 sudah mengikuti distribusi multivariat normal.

D. Diagram Kendali Generalized Variances

Diagram kendali generalized variance digunakan untuk melihat hasil pengendalian variabilitas proses dari limbah cair Pabrik Gula Tjoekir pada periode giling tahun 2015.



Gambar 4 Diagram Kendali Generalized Variances (I)

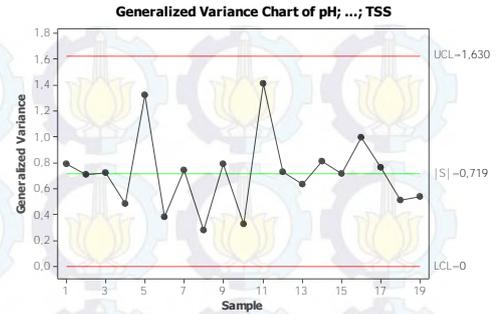
Gambar 4 menunjukkan bahwa monitoring terhadap variabilitas proses dari limbah cair pabrik

Gula Tjoekir secara rata-rata sudah terkendali secara statistik dalam variabilitas, hal ini ditunjukkan dengan lebih dari setengah pengamatan berada di dalam batas kendali atas dan batas kendali bawah. Namun jika dinilai secara statistik, limbah cair tidak berada dalam keadaan terkendali karena ada pengamatan yang keluar dari batas kendali, yaitu pengamatan ke 6.



Gambar 5 Diagram Ishikawa

Diketahui pengamatan yang keluar dari batas kendali adalah pengamatan pada tanggal 14 Juli 2016. Penyebab tidak terkendalinya limbah cair yaitu dikarenakan nilai pH yang terlalu kecil sehingga menyebabkan nilai karakteristik yang menjadi tinggi. Berdasarkan wawancara informal dengan pihak perusahaan dan sesuai dengan diagram *ishikawa*, hal-hal yang mempengaruhi tidak terkendalinya variabel kualitas pada limbah cair ada berbagai macam faktor. Yang pertama adalah dari sumber daya manusia yaitu kurang teliti ketika melakukan pengukuran dan hal ini bisa disebabkan karena pegawai yang malas, mengantuk atau sedang sakit. Pada segi material yaitu dari bahan, dikarenakan pabrik gula beroperasi secara musiman, tebu yang disetorkan ke pabrik gula diambil tanpa melalui seleksi. Sehingga ada beberapa tebu dari petani baru yang belum sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan pabrik. Yang ketiga adalah alat, adanya mesin yang ngadat pada saat penggilingan tebu, selain itu juga bisa disebabkan oleh alat ukur yang belum dibersihkan setelah pengukuran karakteristik kualitas sehingga berpengaruh pada pengukuran selanjutnya. Dari faktor lingkungan berakibat karena suhu yang terlalu tinggi sehingga mempengaruhi bakteri yang ada di dalam limbah. Sedangkan yang terakhir dari faktor metode yang digunakan, yaitu dikarenakan Pabrik Gula Tjoekir mengalami perubahan peraturan tentang baku mutu yang digunakan dari peraturan menteri lingkungan hidup menjadi peraturan gubernur Jawa Timur, maka Pabrik Gula Tjoekir masih dalam masa penajakan metode yang cocok untuk digunakan, selain itu faktor metode juga bisa disebabkan oleh salah pengukuran yang diakibatkan oleh tidak telitinya peneliti atau bisa juga dikarenakan salah penulisan angka pada lembar penelitian.

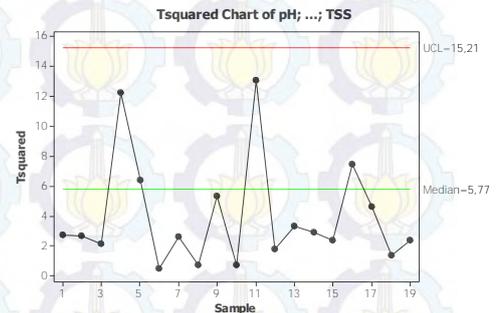


Gambar 6 Diagram Kendali Generalized Variances (II)

Gambar 6 menunjukkan diagram kendali *generalized* varians setelah pengamatan ke-6 dihilangkan karena menjadi penyebab tidak terkendalinya diagram kendali. dapat diketahui bahwa tidak ada pengamatan yang keluar dari batas kendali, sehingga monitoring terhadap variabilitas proses dari limbah cair pabrik Gula Tjoekir sudah terkendali secara statistik dan bisa dilanjutkan analisis menggunakan diagram kendali T^2 Hotelling.

E. Diagram Kendali T^2 Hotelling

Diagram kendali T^2 Hotelling digunakan untuk melihat hasil pengendalian *mean* proses dari limbah cair Pabrik Gula Tjoekir pada periode giling tahun 2015.



Gambar 7 Diagram Kendali T^2 Hotelling

Gambar 7 menunjukkan bahwa semua pengamatan sudah berada di dalam batas kendali, yang berarti monitoring terhadap *mean* proses dari limbah cair Pabrik Gula Tjoekir tahun 2015 sudah terkendali secara statistik. Dikarenakan diagram kendali sudah dalam keadaan terkendali, maka batas kendali bisa digunakan untuk menghitung nilai dari indeks kapabilitas proses.

F. Indeks Kapabilitas Proses

Setelah dilakukan pengendalian terhadap variabilitas dan *mean* proses, maka selanjutnya dilakukan analisis indeks kapabilitas proses secara multivariat. Berikut adalah hasil perhitungan sesuai dengan lampiran E.

Tabel 4 Indeks Kapabilitas Proses

k	χ^2	S	Cp
2,1713	16,2512	3,0018	0,6543

Tabel 4 menunjukkan nilai indeks kapabilitas proses dari data pengamatan karakteristik kualitas limbah cair industri pabrik gula Tjoekir periode giling tahun 2015 yaitu sebesar 0,6543. Indeks kapabilitas

digunakan untuk mengetahui proses berada pada keadaan terkendali atau tidak. Nilai indeks kapabilitas proses yang didapatkan tersebut lebih kecil dari pada angka 1. Hal ini berarti bahwa data pengamatan limbah cair dari proses produksi tebu belum berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan. Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan dengan analisis menggunakan diagram kendali yang menyatakan limbah cair Pabrik Gula Tjoekir periode giling tahun 2015 masih belum berada dalam keadaan terkendali secara statistik.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Analisis menggunakan statistika deskriptif menunjukkan hasil banyak kandungan dari karakteristik kualitas yang tidak sesuai dengan spesifikasi yang digunakan oleh perusahaan. Nilai indeks kapabilitas proses menunjukkan angka 0.6543 kurang dari 1 yang artinya proses dari produksi gula belum kapabel dan tidak dalam keadaan baik sesuai dengan diagram kendali yang menunjukkan adanya ketidaksesuaian dengan penyebab utamanya adalah kondisi sumber daya manusia yang kurang teliti dalam melakukan pengukuran, kondisi material yang digunakan untuk membuat tebu tidak sesuai spesifikasi perusahaan, dan metode yaitu kesalahan pengukuran karakteristik kualitas.

B. Saran

Penelitian ini menunjukkan masih adanya karakteristik kualitas yang menyebabkan tidak terkendalinya air limbah yang dihasilkan, hal ini ditunjukkan dengan adanya pengamatan yang keluar batas kendali dan nilai indeks kapabilitas yang kurang dari 1. Berdasarkan diagram *Ishikawa*, saran untuk perusahaan yaitu penelitian ini bisa digunakan sebagai pandangan untuk menentukan kebijakan yang akan digunakan kedepannya. Seperti mengadakan pelatihan kerja untuk karyawan dan membuat aturan kerja yang mudah dipahami sehingga karyawan lebih teliti dan hati-hati ketika melakukan pekerjaan. Selain itu juga perusahaan bisa menyediakan informasi yang jelas mengenai standar tebu dan menyampaikannya kepada petani yang akan menyalurkan tebu ke pabrik.

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan variabel karakteristik kualitas yang lain dari limbah cair dan menggunakan metode yang berbeda dari metode penelitian ini. Sehingga hasil yang didapatkan bisa dibandingkan kemudian dapat dilihat metode mana yang tepat untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang S, Budiarto. (1993). ReTraining Pengelolaan dan Pengolahan Air Buangan Industri untuk Jurusan Teknik Kimia se-Indonesia, di PEDC Bandung.
- [2] Isyuniarto, dkk. (2007). *Proses Ozonisasi Pada Limbah Cair Industri Gula*. [Online] tersedia : journal.kimia.wan.org/index.php/jki/article/view/19.pdf [20 Desember 2015]
- [3] PTPN X. (2015). *Profil Pabrik Gula Tjoekir*. [Online] tersedia : <http://ptpn10.co.id/page/unit-usaha#anak-perusahaan> [20 Desember 2015]
- [4] Morrison, D.F. (1990). *Multivariate Statistical Methods (3rd ed)*. USA : McGraw-Hill, Inc.
- [5] Renchern, J. (2002). *Methods of Multivariate Analysis (2nd ed)*. Inc. New York : John Wiley & Sons.
- [6] Johnson, R.A. dan Wichern, D.W. (2007) . *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Edisi Keenam. New Jersey: Prentice Hall.
- [7] Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*. USA.
- [8] Kots, J., & L., N. (1993). *Process Caability Indices*. Chapman & Hail.
- [9] Effendi, Hefni. (2003). *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.