



TUGAS AKHIR - SS 145561

# ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS AIR LIMBAH INDUSTRI DI PABRIK GULA TJOEKIR KABUPATEN JOMBANG

IHYA PUTTY ULINNUHA  
NRP 1313 030 088

Dosen Pembimbing  
Drs. Haryono, M.SIE

PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
JURUSAN STATISTIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - SS 145561

# QUALITY CONTROL ANALYSIS OF INDUSTRIAL WASTE WATER IN TJOEKIR SUGAR FACTORY JOMBANG DISTRICT

IHYA PUTTY ULINNUHA  
NRP 1313 030 088

Supervisor  
Drs. Haryono, M.SIE

DIPLOMA III STUDY PROGRAM  
DEPARTMENT OF STATISTICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS AIR LIMBAH INDUSTRI DI PABRIK GULA TJOEKIR KABUPATEN JOMBANG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya  
pada

Program Studi Diploma III Jurusan Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**IHYA PUTTY ULINNUHA**  
NRP. 1313 030 088

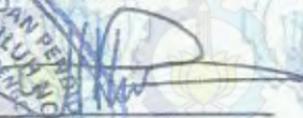
Dibantu oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Sarwono, M.SIE  
NIP. 19520919 197901 1 001



Mengetahui

Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS



Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, Juni 2016

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Ihya Putty Ulinuha

Nrp. : 1313030088

Jurusan / Fak. : DM Statistika / FMIPA ITS

Alamat kontak :

a. Email : tshuyai2@gmail.com

b. Telp/HP : 082231634642

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non-Exclusive Royalti-Free Right)** kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

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

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

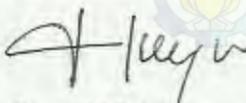
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal :

Yang menyatakan,

Dosen Pembimbing 1



Drs. HARYONO, M.SIE

NIP. 19520919 197901 1 001



IHYA PUTTY ULINUHA

Nrp. 1313030088

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

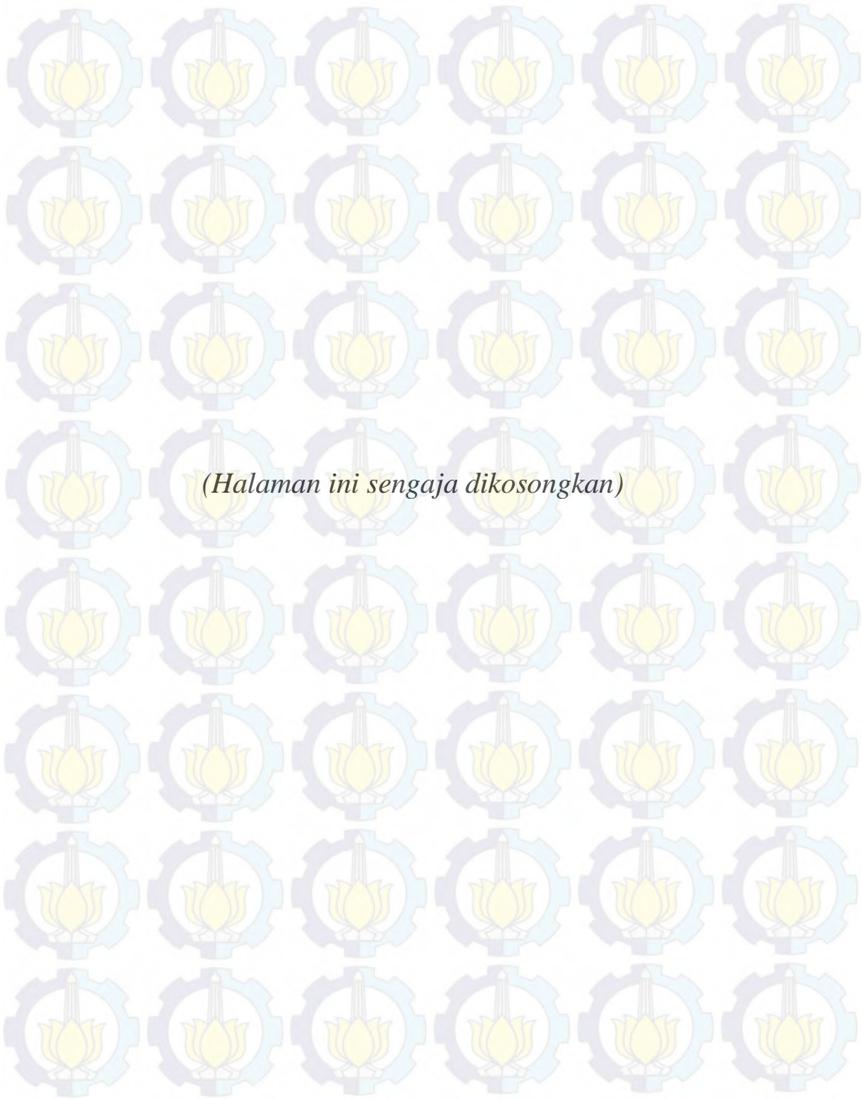
# ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS AIR LIMBAH INDUSTRI DI PABRIK GULA TJOEKIR KABUPATEN JOMBANG

**Nama Mahasiswa** : Ihya Putty Ulinuha  
**NRP** : 1313 030 088  
**Program Studi** : Diploma III  
**Jurusan** : Statistika FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Drs. Haryono, M.SIE

## 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



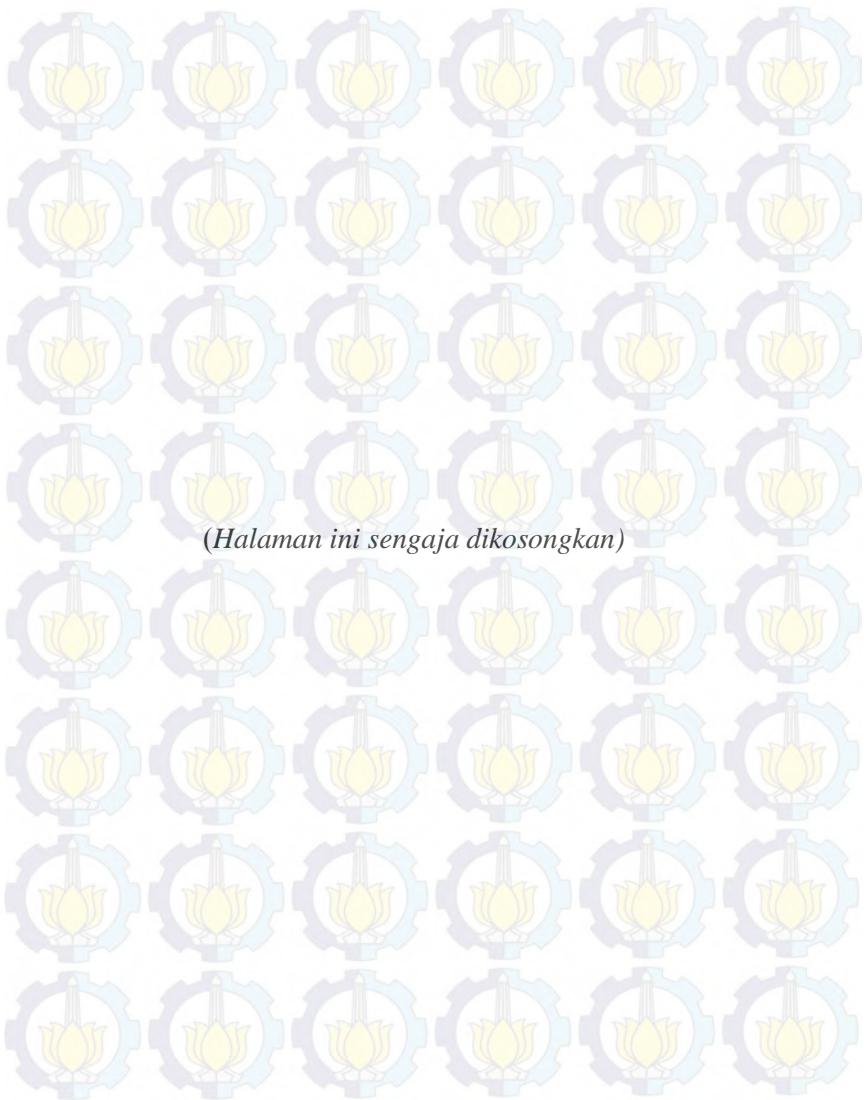
# QUALITY CONTROL ANALYSIS OF INDUSTRIAL WASTE WATER IN TJOEKIR SUGAR FACTORY JOMBANG DISTRICT

**Student Name** : Ihya Putty Uinnuha  
**NRP** : 1313 030 088  
**Programme** : Diploma III  
**Departement** : Statistika FMIPA-ITS  
**Academic Supervisor** : Drs. Haryono, MSIE

## ABSTRACT

*The Increase of Industrial development in Indonesia cannot be separated from environmental pollution problem caused by waste product. Sugar mill waste is in the form of solids liquid, gas, and B3. Tjoekir Sugar Factory is one of Sugar Factory units owned by PT Perkebunan Nusantara X (PTPN X) in Cukir village, Jombang, East Java. As a factory which is localated in a dense populated area, Tjoekir Sugar Factory should really pay attention to the waste quality result in order to minimize the impact on communities surrounding. Liquid waste is determined to be qualified. The research used effluent Sugar observed data of Tjoekir on 2015 milling period was from June to October 2015. The descriptive statistics analysis was used to determine the waste product characteristic. To determine the Capability Index Process was using chart controlled to know that all processes have been controlled statistically. Then  $T^2$  Hotelling control chart was used to control the mean of process, while Generalized Variances control chart was used to control variability process. The result which was obtained from control chart still existed the exist control limit observations which meant that waste water was not controlled multivariately with the high number occurrence of quality characteristics caused by machine, human resources, materials, methods and environmental conditions, so that should improve sugar process production to reduce the high number of quality characteristics. While capability index showed an incapable process.*

**Keywords** : *Capability Process Indices, Descriptive Statistics, Generalized Variances,  $T^2$  Hotelling, Waste Water*



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS AIR LIMBAH INDUSTRI DI PABRIK GULA TJOEKIR KABUPATEN JOMBANG”** dengan baik.

Proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Drs. Haryono, M.SIE selaku dosen pembimbing Tugas Akhir penulis yang selalu sabar memberikan bimbingan berupa ilmu dan nasehat kepada penulis.
2. Dra. Lucia Aridinanti, MT dan Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si selaku dosen penguji atas kritik dan sarannya yang membangun.
3. Dr. Suhartono, M.Sc selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA ITS yang telah memberikan fasilitas-fasilitas untuk kelancaran Tugas Akhir ini.
4. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si selaku Ketua Program Studi D3 Statistika FMIPA ITS yang sangat sabar mengawal proses berjalannya Tugas Akhir mahasiswa DIII dengan bimbingan dan fasilitas yang diberikan.
5. Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT yang senantiasa sabar membimbing, memberikan nasehat serta mengawal mahasiswa DIII sampai tugas akhir ini selesai.
6. Dr. Drs. Agus Suharsono, MS selaku dosen wali yang selalu memberikan dukungan, semangat dan inspirasi nya dalam menjalani perkuliahan.
7. PTPN X yang sudah mengizinkan penulis untuk mengambil data di Pabrik Gula Tjoekir sebagai objek penelitian.
8. Djonet R. Selaku kepala SDM PG Tjoekir dan Dosis Hermawan S.T serta seluruh karyawan PG Tjoekir bagian

pengolahan yang telah memberikan data dan ilmu mengenai pengolahan limbah di PG Tjoekir.

9. Keluarga tercinta, Bapak, Ibu, Mbak dan Adik yang senantiasa menemani disaat suka dan duka, mendoakan, mengingatkan dan memotivasi penulis untuk selalu menjadi pribadi yang lebih baik.
10. Keluarga Racana Sepuluh Nopember, terimakasih sudah menjadi rumah yang nyaman bagi penulis. Terutama untuk koalisi DIII di racana yang sama-sama berjuang dalam tugas akhir, dan kak Thoriq yang sudah rela direpotkan oleh penulis, siap mengantar sampai menemani begadang, terimakasih.
11. Keluarga HIMADATA-ITS terutama HUBLU `14/15 dan HUBLU `15/16, terimakasih sudah menemani dan menjadi bagian dari kehidupan penulis.
12. Keluarga IMJ Sepuluh Nopember yang sama-sama berjuang di perantauan. Terimakasih sudah berbagi suka duka bersama.
13. Keluarga Legendary khususnya teman-teman D-III 2013 yang sama-sama berjuang dalam Tugas Akhir dan menjadi rekan berharga semasa perkuliahan.
14. Buat semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu disini. Warna warni hidup yang telah kalian berikan tak akan terlupakan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca, almamater dan bangsa.

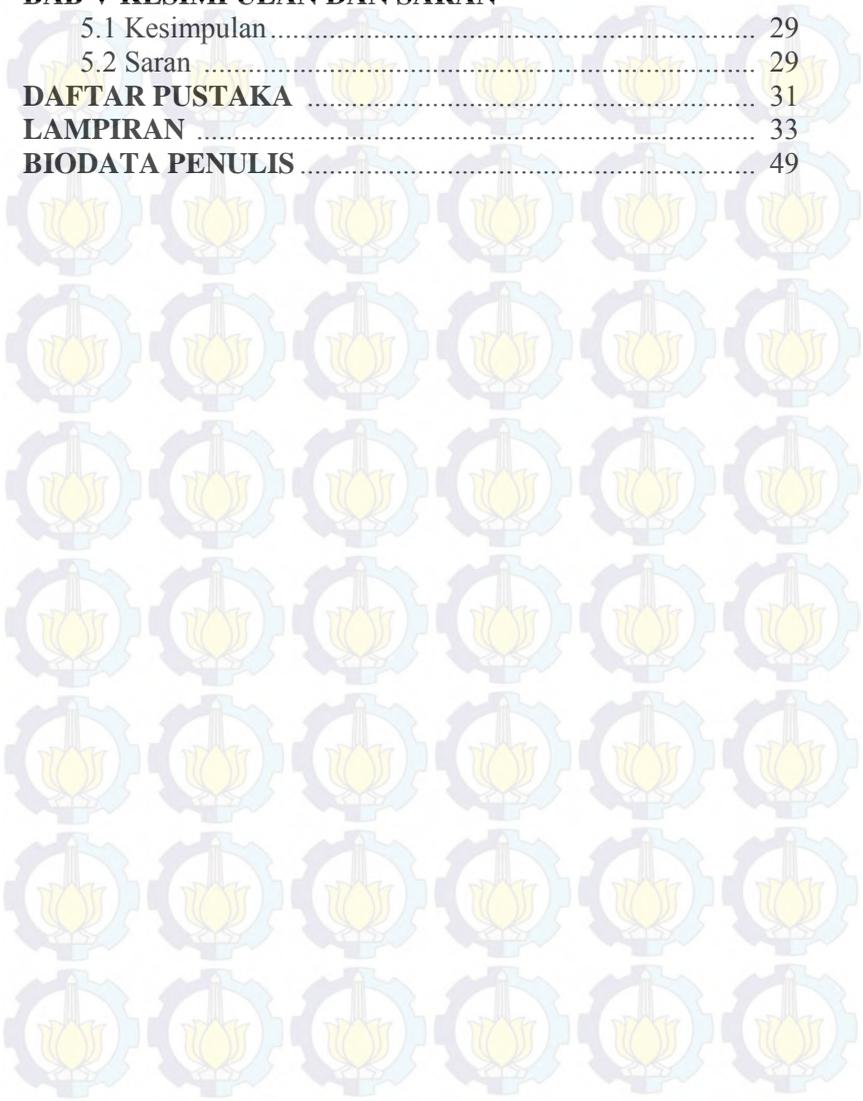
Surabaya, Juni 2016

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	ii
<b>LEMBAR PEGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Analisis Multivariat .....	7
2.2 Diagram Kendali .....	9
2.3 Kapabilitas Proses Multivariat .....	13
2.4 Limbah Cair Pabrik Gula .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Variabel Penelitian .....	15
3.2 Teknik Pengambilan Sampel .....	16
3.3 Langkah Analisis Data .....	17
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Karakteristik Limbah Cair .....	21
4.2 Pemeriksaan Asumsi .....	23
4.2.1 Uji Independensi .....	23
4.2.2 Uji Distribusi Multivariat Normal .....	24
4.3 Diagram Kendali <i>Generalized Variances</i> .....	25
4.4 Diagram Kendali $T^2$ Hotelling .....	27

4.5 Indeks Kapabilitas Proses .....	28
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	29
5.2 Saran .....	29
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	31
<b>LAMPIRAN</b> .....	33
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	49



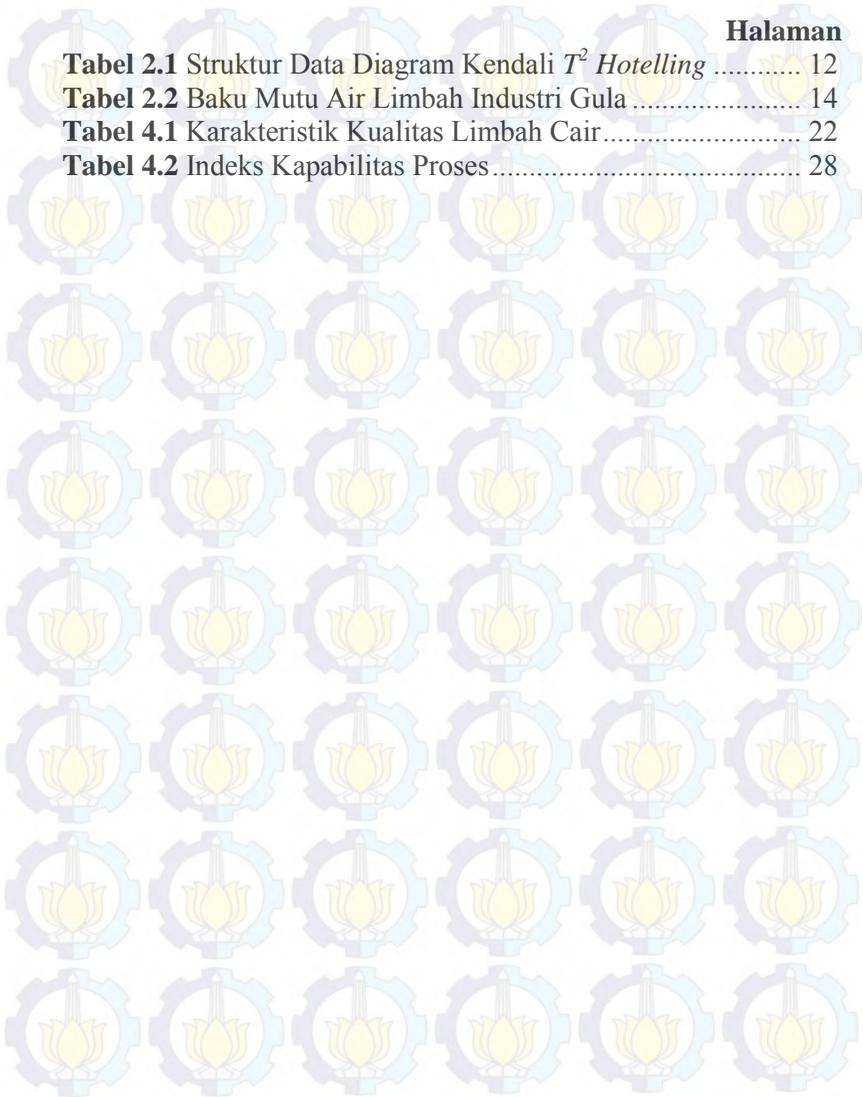
## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	19
<b>Gambar 4.1</b> Gula yang di Produksi Selama Tahun 2015 .....	21
<b>Gambar 4.2</b> Debit Air Limbah Selama Tahun 2015 .....	22
<b>Gambar 4.3</b> <i>Scatterplot</i> Multivariat Normal .....	24
<b>Gambar 4.4</b> Diagram Kendali <i>Generalized Variances</i> (I) .....	25
<b>Gambar 4.5</b> Diagram <i>Ishikawa</i> .....	25
<b>Gambar 4.6</b> Diagram Kendali <i>Generalized Variances</i> (II) .....	27
<b>Gambar 4.7</b> Diagram Kendali $T^2$ <i>Hotelling</i> .....	27



## DAFTAR TABEL

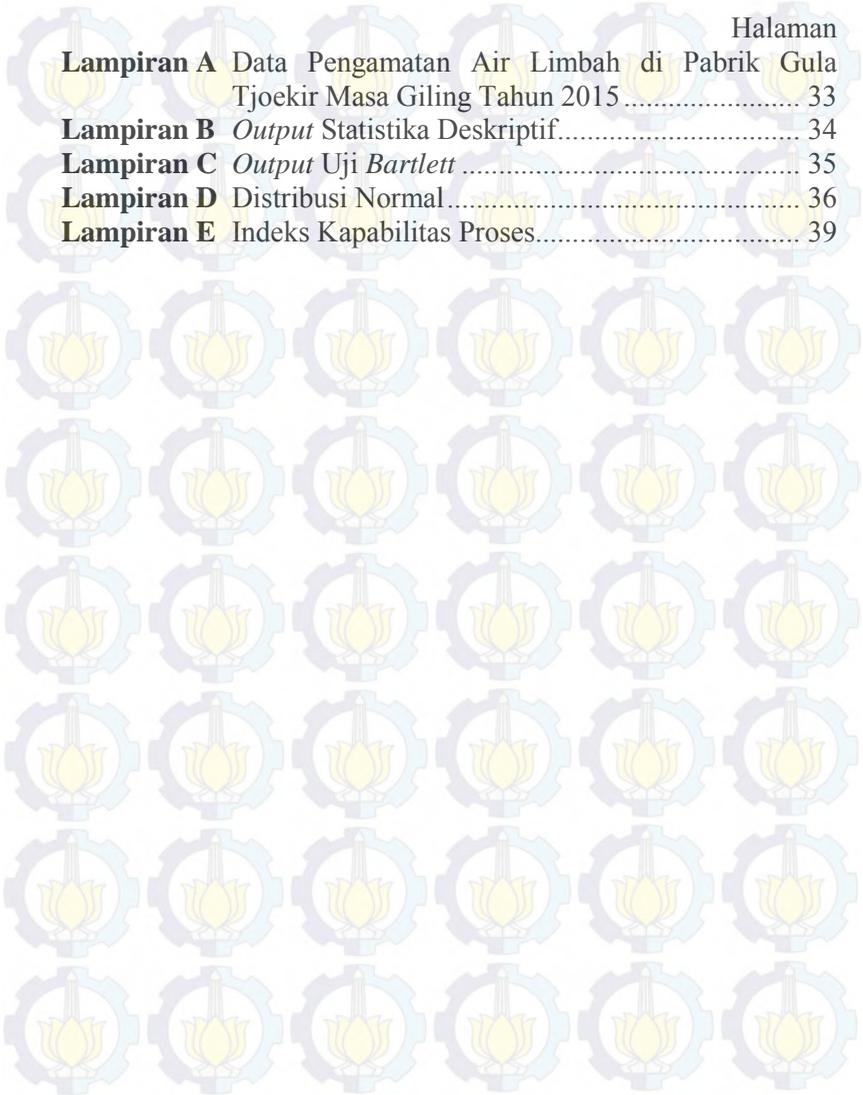
	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Struktur Data Diagram Kendali $T^2$ Hotelling .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Baku Mutu Air Limbah Industri Gula .....	14
<b>Tabel 4.1</b> Karakteristik Kualitas Limbah Cair .....	22
<b>Tabel 4.2</b> Indeks Kapabilitas Proses .....	28

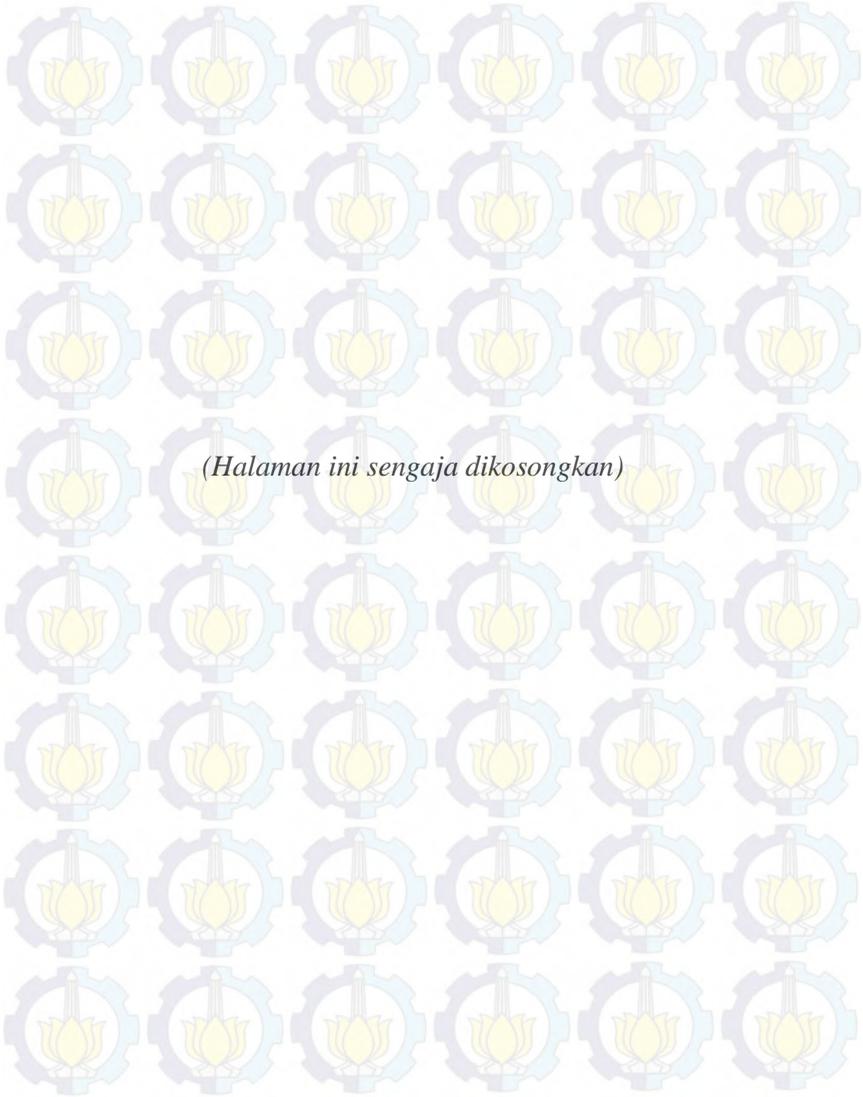
A decorative background pattern consisting of a grid of light blue gears. Inside each gear is a yellow lotus flower. The pattern is repeated across the page, creating a textured, industrial aesthetic.



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A</b> Data Pengamatan Air Limbah di Pabrik Gula Tjoekir Masa Giling Tahun 2015 .....	33
<b>Lampiran B</b> <i>Output</i> Statistika Deskriptif.....	34
<b>Lampiran C</b> <i>Output</i> Uji <i>Bartlett</i> .....	35
<b>Lampiran D</b> Distribusi Normal.....	36
<b>Lampiran E</b> Indeks Kapabilitas Proses.....	39





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

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 (Bambang dan Budianto, 1993). 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 (Isyuniarto dkk, 2007).

Proses produksi gula tidak terlepas dari limbah dan produk samping yang dihasilkan selama proses pengolahan. Limbah yang dihasilkan pabrik gula berupa limbah padat yaitu ampas tebu, limbah cair, limbah gas yang berupa asap pabrik, serta limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Limbah cair pabrik gula dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan jika tidak ditangani secara tepat karena mengandung sejumlah besar karbohidrat, protein, lemak, dan sisa-sisa bahan kimia yang digunakan baik dalam pengolahan maupun pembersihan. Terdapat dua jenis limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik gula, yaitu limbah cair pabrik dan limbah kondensor atau air pendingin. Air pendingin atau limbah kondensor ini dihasilkan oleh kondensasi uap dalam kondensor baromatik. Air pendingin ini memiliki kandungan senyawa organik yang berkisar antara 0 – 1.000 mg/l. Pengolahan tebu menjadi gula dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 1-2 m<sup>3</sup>/ton tebu (Yusmita, 2014).

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-sulfitasi. Proses defekasi adalah proses pemurnian gula dengan cara pemberian susu kapur pada nira sehingga terjadilah pengendapan yang kemudian dapat dipisahkan antara nira kotor dan nira jernih. Sedangkan sulfitasi adalah proses pemurnian gula dengan menggunakan gas  $\text{SO}_2$  dan keluaran yang dihasilkan adalah nira jernih dan blotong. Proses defekasi menghasilkan gula coklat sedangkan proses sulfitasi menghasilkan gula putih. Selain gula sebagai produk utama, PTPN X juga mempunyai produk sampingan seperti tetes yang didapatkan dari hasil pemisahan kristal gula pada pengolahan gula tebu dan pupuk kompos (PTPN X, 2015).

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. Tidak hanya itu, warga mengeluh air di sumur menjadi kotor dan tercemar akibat pembuangan limbah tersebut. Selain pencemaran air, pencemaran udara juga terjadi karena filter dari pembuangan asap hasil pengolahan tebu rusak dan belum mendapatkkan perhatian serius untuk segera diperbaiki sehingga asap masuk ke pemukiman penduduk yang menyebabkan lantai menjadi kotor berdebu.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Hanim (2008) tentang “Pengaruh Pembuangan Limbah Industri Gula Tjoekir Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Kecamatan Diwek Kabupaten Jombang”, kesimpulan yang didapatkan yaitu kualitas limbah gula Tjoekir masih berada di bawah standard baku mutu dan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kualitas air tanah dangkal di sekitar Desa Cukir. Sedangkan penelitian lain

dilakukan oleh Maghfiroh (2013) tentang “Peran Pemerintah dalam Mengatasi Limbah Industri Pabrik Gula Tjoekir (Studi pada Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Jombang)”, kesimpulan yang didapatkan yaitu cara pengolahan limbah padat, cair dan gas masih kurang sehingga merugikan warga masyarakat, selain itu juga dari banyaknya limbah hanya blotong yang mampu dimanfaatkan masyarakat. Penelitian ini hanya memfokuskan pada pengaruh limbah industri terhadap lingkungan tanpa memperhatikan pengendalian kualitas dari penyebabnya.

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. Penelitian ini dilakukan terhadap parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas limbah cair. Analisis yang digunakan yaitu menggunakan diagram kendali multivariat untuk mengetahui kualitas limbah sudah berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Digunakan analisis menggunakan statistika deskriptif untuk mengetahui karakteristik limbah cair, diagram kendali  $T^2$  Hotelling untuk mengendalikan *mean* proses dan diagram kendali *Generalized Variance* untuk mengendalikan variabilitas proses. Sehingga penelitian dengan menggunakan diagram kendali ini diharapkan dapat digunakan sebagai pedoman untuk mengendalikan proses selanjutnya dan bisa digunakan sebagai bahan evaluasi.

## **1.2 Rumusan Permasalahan**

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. Sehingga didapatkan rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana indeks kapabilitas proses dari air limbah gabungan yang dihasilkan dari proses produksi gula di Pabrik Gula Tjoekir dengan terlebih dahulu mengendalikan varians proses menggunakan diagram kendali *generalized variance* dan mengendalikan *mean* proses menggunakan diagram kendali  $T^2$  Hotelling?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang digunakan yaitu data 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.

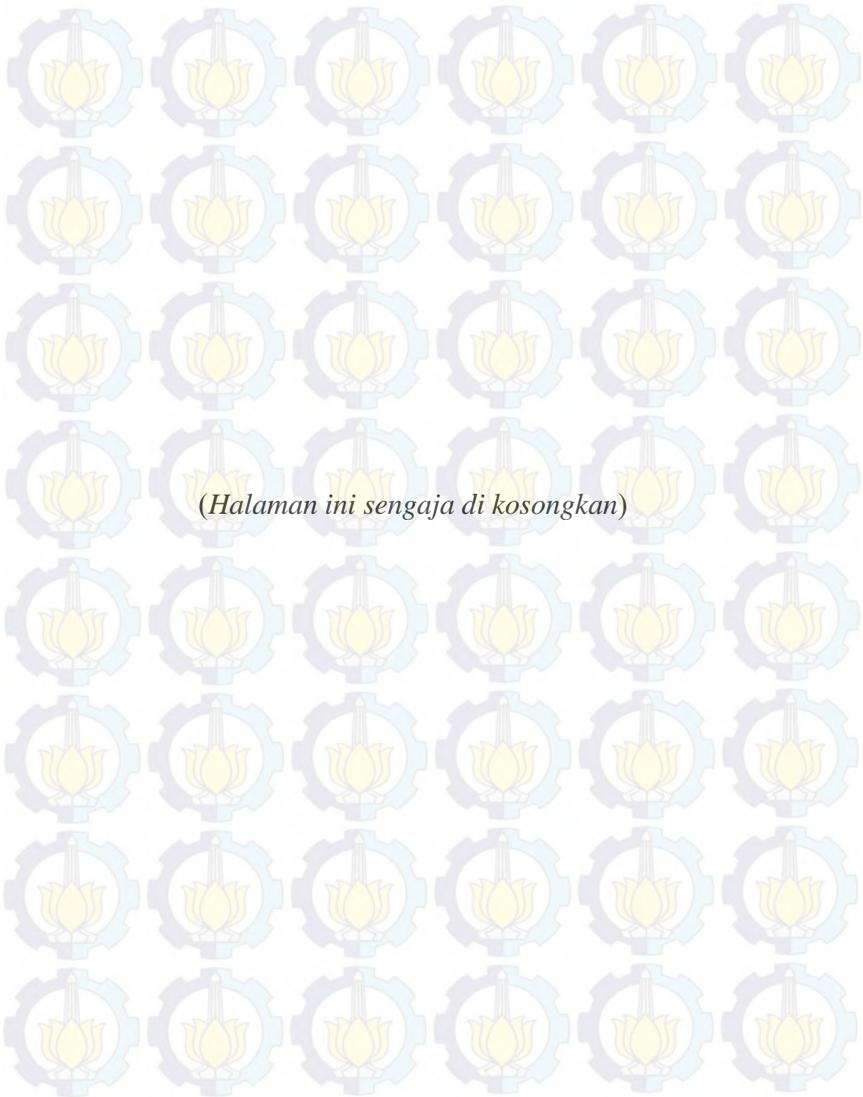
### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis indeks kapabilitas proses pada air limbah industri Pabrik Gula Tjoekir dan mengidentifikasi penyebab apabila terindikasi ada proses yang tidak terkendali secara statistik.

## 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebagai salah satu bahan acuan untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan metode yang sama yaitu diagram kendali multivariat atau objek penelitian yang sama yaitu air limbah proses produksi gula.
2. Membantu meningkatkan kinerja Pabrik Gula Tjoekir dalam mengevaluasi kinerja pabrik serta memberikan solusi alternatif atau kebijakan untuk Pabrik Gula Tjoekir dalam mengendalikan kualitas limbah agar dampak yang ditimbulkan tidak berpengaruh terlalu besar terhadap lingkungan sekitar Pabrik Gula.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan suatu analisis dimana variabel yang digunakan lebih dari satu dan saling berkorelasi. Teknik analisis multivariat diklasifikasikan menjadi dua yaitu analisis dependensi dan analisis independensi (Johnson and Winchern, 2007). Analisis dependensi merupakan analisis yang terdiri dari variabel bebas dan tidak bebas sedangkan analisis independendi adalah analisis yang terdiri dari beberapa variabel yang tidak terdapat perbedaan antar variabel (Hidayat dan Istiadah, 2011). Analisis multivariat memerlukan asumsi bahwa variabel-variabel harus dependen dan berdistribusi normal multivariat.

#### 2.1.1 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 (Morrison, 1990).

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*

$$\chi^2 = - \left[ m - 1 - \frac{2p+5}{6} \right] \ln|R| \quad (2.1)$$

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 ( $\alpha$ ) 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 (Renchern, 2002).

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

untuk

$$r_{jp} = \frac{1}{p-1} \sum_{r=1}^p \left( \frac{x_{jr} - \bar{x}_j}{\sqrt{s_{jj}}} \right) \left( \frac{x_{pr} - \bar{x}_p}{\sqrt{s_{pp}}} \right) \quad (2.2)$$

dan

$$s_{jj} = (x_{jr} - \bar{x}_j)^2 \quad (2.3)$$

Dimana :

$r_{jp}$  = nilai korelasi antar variabel

$p$  = banyaknya karakteristik kualitas

$m$  = jumlah pengamatan

$R$  = matriks korelasi dari masing-masing variabel

### 2.1.2 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  $\mu$  dan  $\Sigma$  jika mempunyai fungsi densitas sebagai berikut (Johnson And Winchern, 2007).

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

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

$$d_i^2 = (x_{ij} - \bar{x}_j)' S^{-1} (x_{ij} - \bar{x}_j) \quad (2.4)$$

Nilai invers matriks varian kovarian  $S$  yang dapat ditunjukkan pada persamaan (2.7) merupakan taksiran dari  $\Sigma$  dimana nilai  $S$  dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_j^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m-1} \right) \quad (2.5)$$

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

$$S_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k)}{m-1} \quad (2.6)$$

Sehingga apabila terdapat kurang dari 50% jarak  $d_i^2 \leq \chi_{(p,0.05)}^2$  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, ..., m dan m adalah jumlah subgroup

j = 1, 2, ..., 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  $S_{p \times p}$

$$S = \begin{bmatrix} s_1^2 & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ & s_2^2 & \cdots & s_{2p} \\ & & \ddots & \vdots \\ & & & s_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

## 2.2 Diagram Kendali

Diagram kendali statistika adalah suatu alat yang digunakan untuk melihat kualitas hasil proses apakah terkendali secara statistik. Berdasarkan karakteristik kualitasnya, diagram kendali dibedakan menjadi dua yaitu diagram kendali variabel dan atribut. Diagram kendali variabel merupakan diagram kendali yang karakteristik kualitasnya dapat diukur seperti panjang, lebar dan tinggi. Sedangkan diagram kendali atribut jika karakteristik kualitas hanya membedakan saja seperti cacat atau tidak cacat. Suatu diagram kendali dikatakan terkendali jika plot pengamatan tidak keluar batas kendali. Diagram kendali memuat batas kendali atas (BKA), batas kendali bawah (BKB), serta garis tengah (GT).

Berdasarkan banyaknya karakteristik kualitas yang akan diukur, diagram kendali dibagi menjadi dua jenis. Yang pertama adalah diagram kendali univariat yang diperkenalkan oleh Walter A. Shewhart, diagram kendali ini digunakan jika hanya ada satu karakteristik kualitas yang akan diukur, diagram kendali ini dikenal sebagai diagram kendali *Shewhart*. Sedangkan untuk mengukur dua atau lebih karakteristik kualitas secara bersamaan digunakan diagram kendali multivariat yang diperkenalkan oleh Harold Hotelling, diagram kendali ini dikenal sebagai diagram kendali  $T^2$  *Hotelling*. Diagram kendali yang digunakan untuk mengendalikan *mean* proses adalah diagram kendali  $T^2$  *Hotelling*, sedangkan untuk mengendalikan varians proses digunakan diagram kendali *generalized variance* (Montgomery, 2009).

### 2.2.1 Diagram Kendali *Generalized Variance*

Diagram kendali *generalized Variance* digunakan untuk mengontrol varians dari proses. Varians proses digambarkan dari matriks varian kovarian  $\Sigma$  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 (Montgomery, 2009).

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (2.8)$$

dan

$$var(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (2.9)$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.10)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[ \prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (2.11)$$

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.

### 2.2.2 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 ( $n=1$ ) (Montgomery, 2009).

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

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

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.

$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X}_j)(X_i - \bar{X}_j)' \quad (2.12)$$

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

$$T_i^2 = (x_i - \bar{x}_j)' S^{-1} (x_i - \bar{x}_j), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, p \quad (2.13)$$

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

Pada phase I

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

$$BKB = 0$$

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..

**Tabel 2.1** Struktur Data Diagram Kendali  $T^2$  Hotelling

Sampel (i)	Variabel Kualitas (j)				$T_i^2$
	1	2	...	p	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	...	$X_{1p}$	$T_1^2$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	...	$X_{2p}$	$T_2^2$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	$X_{m1}$	$X_{m2}$	...	$X_{mp}$	$T_m^2$
Mean	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	...	$\bar{x}_p$	
Varians	$s_1^2$	$s_2^2$	...	$s_p^2$	

### 2.3 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 (Kotz dkk, 1993).

Proses dikatakan kapabel jika :

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

$$Cp = \frac{k}{x_{p,0.9973}^2} \left[ \frac{(v-1)p}{s} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.14)$$

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

$$S = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^T A^{-1} (x_i - \bar{x}) \quad (2.15)$$

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

$$k^2 = (\bar{x}_i - \xi_j)^T V_0^{-1} (\bar{x}_i - \xi_j) \quad (2.16)$$

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

## 2.4 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.

Sumber utama air limbah pabrik gula adalah air pendingin pada kondensor baromatik. Gula yang terbawa dalam uap dari evaporator masuk ke dalam air pendingin. Air pendingin ini merupakan 90% dari keseluruhan penggunaan air, mempunyai nilai BOD rendah. Air proses dari pencucian pada penghilangan warna, pencucian endapan saringan tekan, serta air cuci lantai dan alat hanya 10% dari keseluruhan penggunaan air, akan tetapi nilai BOD-nya tinggi sedangkan TSS dan kadar organiknya relatif rendah. Total keseluruhan air limbah mempunyai nilai BOD 300 sampai 2000 mg/l dan TSS 200 sampai 800 mg/l, tergantung pada faktor proses produksi yang terjadi di dalam pabrik khususnya pada proses pemurnian gula. 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 (EMDI-BAPEDAL, 1994).

**Tabel 2.2** 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 <sup>3</sup> per hari tebu yang diolah	

(Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No.52 Tahun 2014)

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Variabel 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 2.2.

1. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly dan Cuvin, 1988). Karena melibatkan mikroorganisme sebagai pengurai, pengukuran BOD memerlukan waktu inkubasi 5 hari untuk oksidasi biokimia pada suhu 20<sup>0</sup>C.
2. COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air. Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat dengan suhu 150<sup>0</sup>C pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990). COD diukur dengan menggunakan alat khusus *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan selama beberapa waktu, dan titrasi (Umaly dan Cuvin, 1988).
3. TSS (*Total Suspended Solid*) merupakan Padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap langsung. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. Air buangan industri mengandung jumlah padatan tersuspensi dalam jumlah yang sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya (Fardiaz, 1992). TSS diukur dengan cara

menyaring air buangan dengan kertas milipore berpori-pori 0.45  $\mu\text{m}$ .

4. pH adalah derajat keasaman suatu zat. Air normal yang memenuhi syarat untuk suatu kehidupan mempunyai pH sekitar 6,5 - 7,5. Bila pH di bawah pH normal, maka air tersebut bersifat asam, sedangkan air yang mempunyai pH diatas normal berarti bersifat basa. Air limbah dan buangan industri akan mengubah pH air yang akhirnya akan mengganggu kehidupan organisme di dalam air (Fardiaz, 1992). pH dianalisa di laboratorium dengan metode Potensiometri.

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  $\text{CO}_2$  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 (Effendi, 2003).

### **3.2 Teknik Pengambilan Sampel**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data karakteristik kualitas limbah cair gabungan yang dihasilkan setelah proses produksi gula yang diperoleh dari Pabrik Gula Tjoekir pada periode proses giling tahun 2015 yaitu bulan Juni sampai Oktober. 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- $j$ .

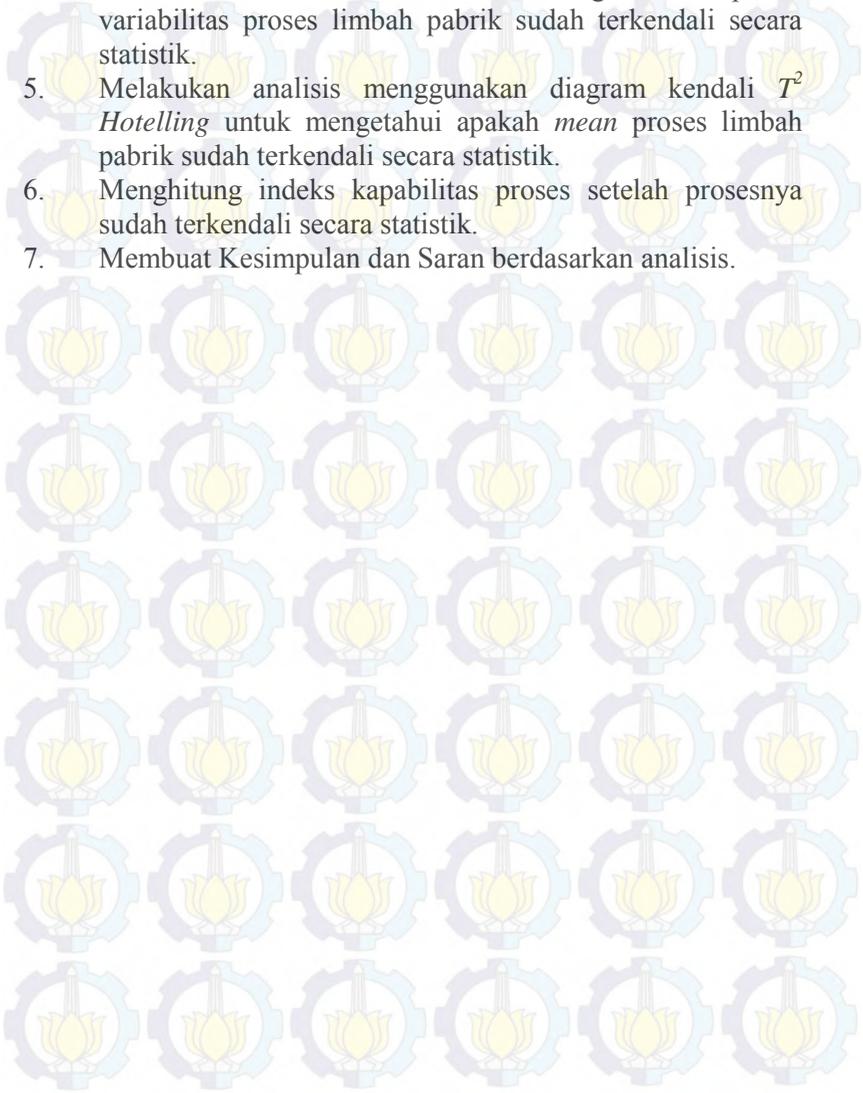
**Tabel 3.1** Struktur Data Pengamatan

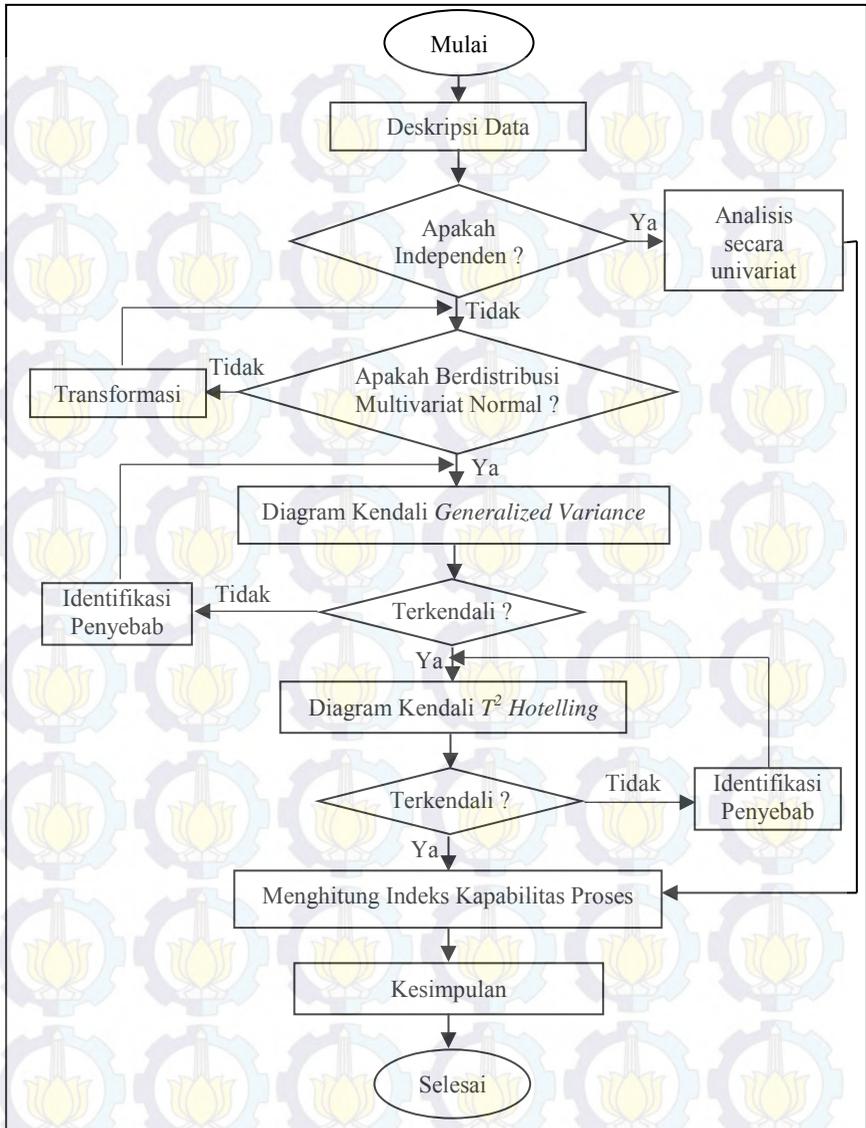
Sampel (i)	Variabel Kualitas (j)				$T_i^2$
	pH	BOD	COD	TSS	
1	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$T_1^2$
2	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$T_2^2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
20	$X_{20,1}$	$X_{20,2}$	$X_{20,3}$	$X_{20,4}$	$T_{20}^2$
<i>Mean</i>	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$	
Varians	$s_1^2$	$s_2^2$	$s_3^2$	$s_4^2$	

### 3.3 Langkah Analisis Data

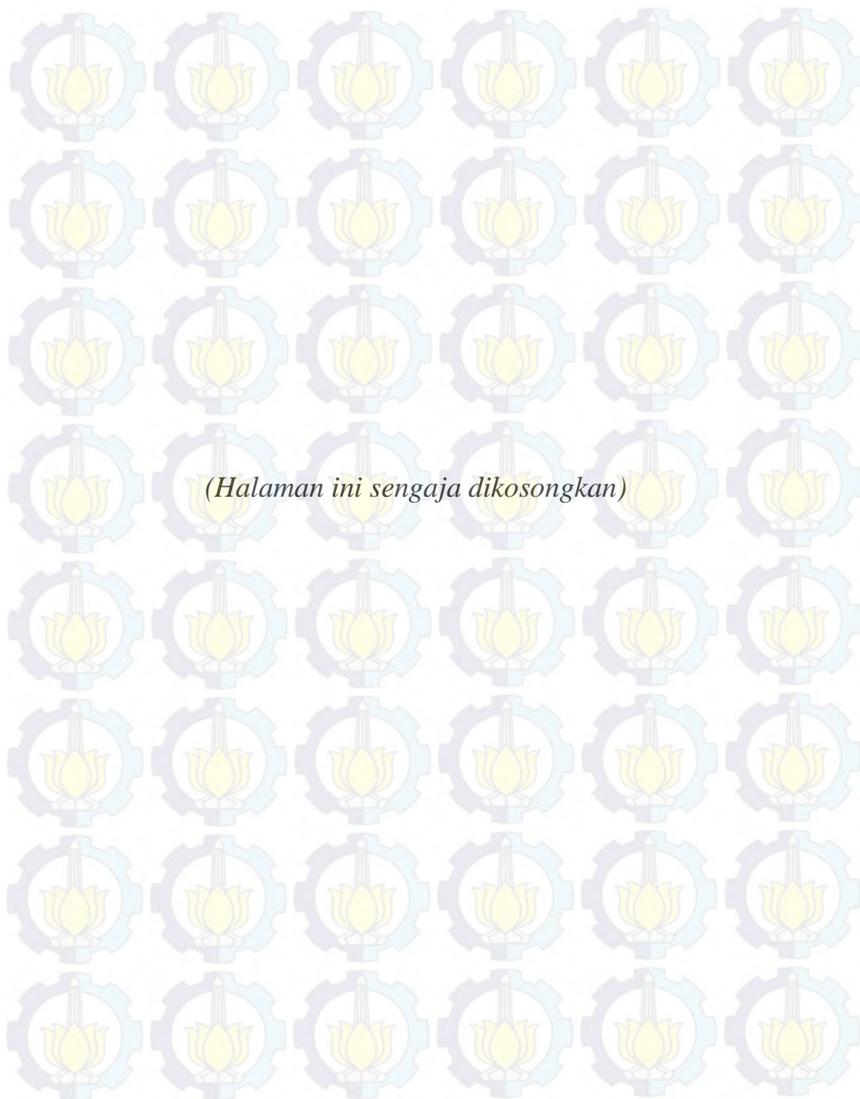
Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah diagram kendali statistik yang diuraikan sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data sekunder yaitu data hasil pengamatan kandungan limbah cair gabungan di Pabrik Gula Tjoekir tahun 2015.
2. Mendeskripsikan karakteristik dari tiap parameter pada limbah cair yang dihasilkan Pabrik Gula Tjoekir. Deskripsi dilakukan dengan menggunakan diagram batang untuk produksi gula dan debit air limbah selama tahun 2015, sedangkan deskripsi tiap parameter menggunakan statistika deskriptif yang meliputi *mean*, varians, nilai minimum dan maksimum.
3. Melakukan pemeriksaan asumsi yaitu uji independensi antar variabel pengamatan untuk melihat korelasi antar karakteristik kualitas dan pemeriksaan distribusi multivariat normal untuk melihat data berdistribusi multivariat normal atau tidak.

4. Melakukan analisis menggunakan diagram kendali *Generalized Variance* untuk mengetahui apakah variabilitas proses limbah pabrik sudah terkendali secara statistik.
  5. Melakukan analisis menggunakan diagram kendali  $T^2$  *Hotelling* untuk mengetahui apakah *mean* proses limbah pabrik sudah terkendali secara statistik.
  6. Menghitung indeks kapabilitas proses setelah prosesnya sudah terkendali secara statistik.
  7. Membuat Kesimpulan dan Saran berdasarkan analisis.
- 



**Gambar 3.1** Diagram Alir

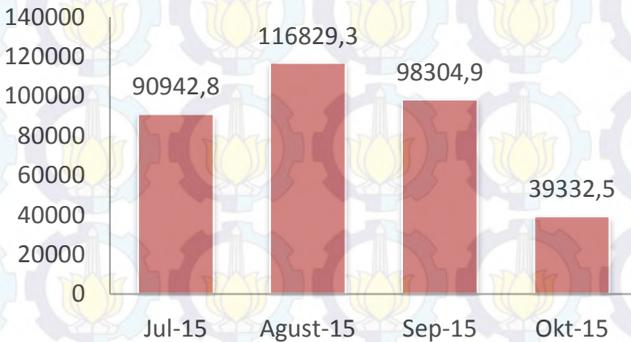


## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Gula Tjoekir Periode Giling Tahun 2015**

Deskripsi karakteristik yang digunakan dalam penelitian ini adalah diagram batang dan statistika deskriptif. Data yang akan dideskripsikan adalah data banyaknya produksi Gula per bulan selama periode giling Pabrik Gula Tjoekir tahun 2015 dan data debit air limbah per bulan Pabrik Gula Tjoekir beserta karakteristik limbah cairnya pada tahun giling 2015.



**Gambar 4.1** Gula yang di Produksi Selama Tahun 2015

Gambar 4.1 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 4.2** Debit Air Limbah Selama Tahun 2015

Gambar 4.2 menunjukkan debit air limbah gabungan yang dihasilkan selama periode giling Pabrik Gula Tjoekir tahun 2015. Pada bulan Juni air limbah yang dihasilkan sebanyak 2325 m<sup>3</sup>, bulan Juli 2078 m<sup>3</sup>, bulan Agustus 147502 m<sup>3</sup>, bulan September 126321 m<sup>3</sup>, dan bulan Oktober sebanyak 50569 m<sup>3</sup>.

**Tabel 4.1** 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 4.1 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.

#### **4.2 Pemeriksaan Asumsi**

Ada dua asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis secara multivariat. Berikut adalah hasil pemeriksaan asumsi dari distribusi multivariat normal dan uji independensi.

##### **4.2.1 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)

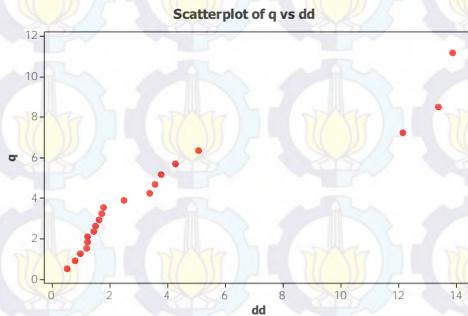
Jika ditetapkan taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 0,05 dengan daerah penolakannya adalah tolak  $H_0$  jika  $\chi^2_{hitung}$  lebih dari  $\chi^2$  tabel. Sesuai dengan lampiran C, didapatkan nilai  $\chi^2$  hitung (33,847) lebih besar daripada nilai  $\chi^2$  tabel (12,592) sehingga dapat diputuskan 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.

#### 4.2.2 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.

Sesuai dengan lampiran D, 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*.

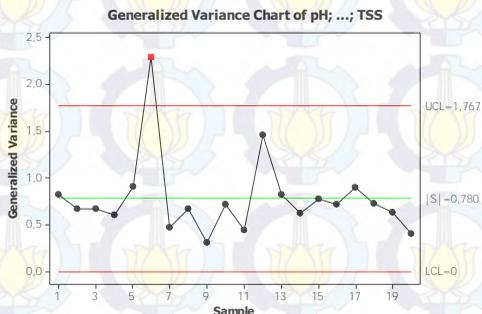


**Gambar 4.3** *Scatterplot* Multivariat Normal

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.

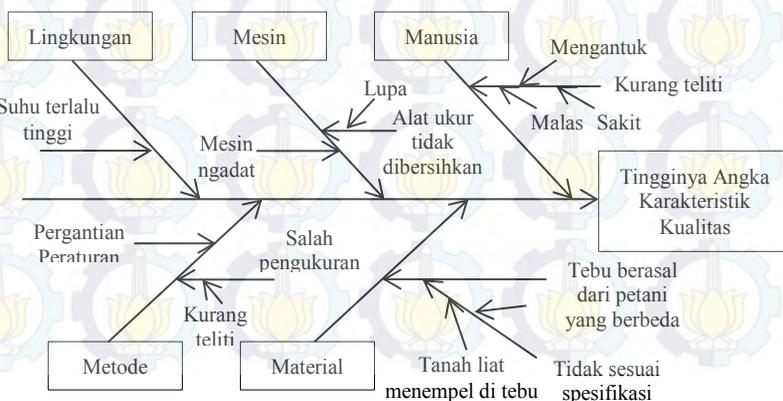
### 4.3 Diagram Kendali *Generalized Variance*

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



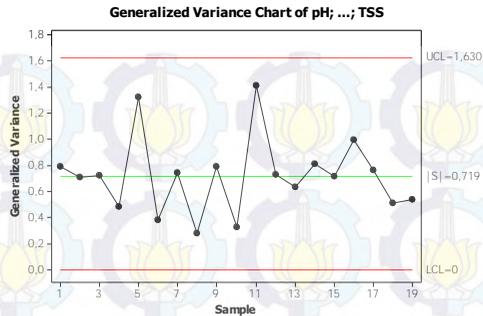
**Gambar 4.4** Diagram Kendali *Generalized Variances* (I)

Gambar 4.4 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 4.5** 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.

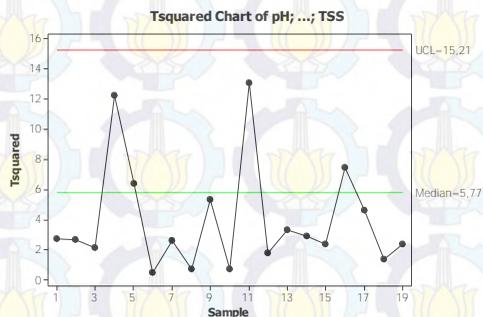


**Gambar 4.6** Diagram Kendali *Generalized Variances* (II)

Gambar 4.6 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.

#### 4.4 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 4.7** Diagram Kendali  $T^2$  Hotelling

Gambar 4.7 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.

#### 4.5 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 4.2** Indeks Kapabilitas Proses

k	$\chi^2$	S	Cp
2,1713	16,2512	3,0018	0,6543

Tabel 4.2 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.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

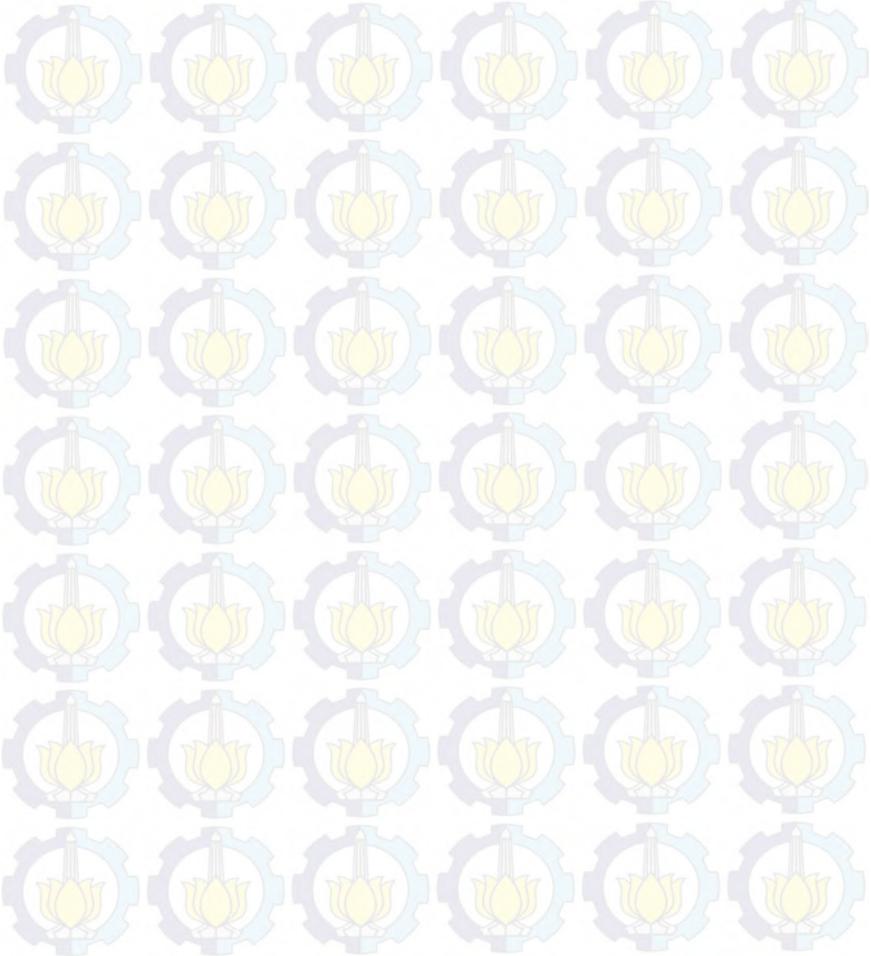
#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada bab IV, diperoleh kesimpulan terkait hasil penelitian. 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.

#### **5.2 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

- Bambang S, Budianto. (1993). *ReTraining Pengelolaan dan Pengolahan Air Buangan Industri untuk Jurusan Teknik Kimia se- Indonesia*, di PEDC Bandung.
- Boyd, C.E. (1990). *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama : Alabama Agriculture Experimental Station, Auburn University. 482 p.
- Effendi, Hefni. (2003). *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta : Kanisius.
- EMDI-BAPEDAL. (1994). *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia : Sumber Pengendalian dan Baku Mutu*. Jakarta : BAPEDAL.
- Fardiaz, Srikandi. (1992). *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta : Kanisius.
- Hanim, Fitria. (2008). *Pengaruh Pembuangan Limbah Industri Gula Tjoekir Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Kecamatan Diwek Kabupaten Jombang*. [Online] tersedia : <http://karyailmiah.um.ac.id/index.php/Geografi/article/view/3917> [20 Januari 2016]
- Hidayat, T., & Istiadah, N. (2011). *Panduan Lengkap SPSS 19 untuk Mengolah Data Statistik Penelitian*. Jakarta : Media Kita.
- Isyuniarto, dkk. (2007). *Proses Ozonisasi Pada Limbah Cair Industri Gula*. [Online] tersedia : [journal.kimia.wan.org/index.php/jki/article/view/19.pdf](http://journal.kimia.wan.org/index.php/jki/article/view/19.pdf) [20 Desember 2015]
- Johnson, R.A. dan Wichern, D.W. (2007) . *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Edisi Keenam. New Jersey: Prentice Hall.
- Kots, J., & L., N. (1993). *Process Capability Indices*. Chapman & Hail.
- Maghfiroh, Ima. 2013. *Analisis Peran Pemerintah dalam Mengatasi Limbah Industri Pabrik Gula Tjoekir*. [Online]

tersedia : <http://administrasipublik.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jap/article/viewFile/102/87> [20 Januari 2016]

Montgomery, D.C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition*. USA.

Morrison, D.F. (1990). *Multivariate Statistical Methods (3rd ed)*. USA : McGraw-Hill, Inc.

PTPN X. (2015). *Profil Pabrik Gula Tjoekir*. [Online] tersedia : <http://ptpn10.co.id/page/unit-usaha#anak-perusahaan> [20 Desember 2015]

Renchern, J. (2002). *Methods of Multivariate Analysis (2nd ed)*. Inc. New York : John Wiley & Sons.

Umaly, R.C. & Ma L.A. Cuvin. (1988). *Limnology : Laboratory and Field Guide, Physico-chemical Factors, Biological Factors*. Metro Manila : National Book Store, Inc. Publisher.

Yusmita, N (2014). *Skripsi Analisis Kualitas Air Sungai Pakis Akibat Limbah Pabrik Gula Pakis Baru di Kecamatan Tayu Kabupaten Pati*. Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah. Surakarta.

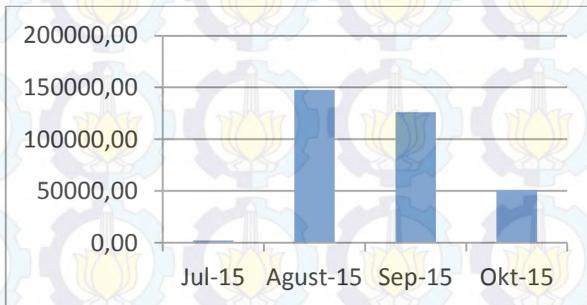
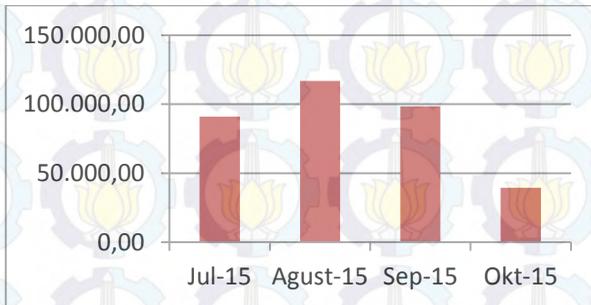
## LAMPIRAN

### Lampiran A. Data Pengamatan Air Limbah di Pabrik Gula Tjoekir Masa Giling Tahun 2015

Pengamatan	Variabel Kualitas				S  (I)	S  (II)	T <sub>i</sub> <sup>2</sup>
	pH	BOD	COD	TSS			
11-Jun	7,35	71,7	172,08	20	0,825	0,794	2,711
18-Jun	7,07	278,3	643,5409	19	0,665	0,7104	2,6396
25-Jun	7,11	293,2	733	40	0,670	0,7225	2,137
01-Jul	7,62	425,3	968,8	280	0,603	0,4846	12,209
07-Jul	6,44	239,8	743,38	30	0,908	1,3252	6,3843
14-Jul	4,95	262,3	775,8	82	2,289		
20-Jul	7,15	120,71	350,059	96	0,467	0,3823	0,4705
26-Jul	7,07	255,5	852,4	48	0,669	0,7427	2,610
01-Agust	7,24	215,03	494,569	52	0,308	0,2779	0,706
08-Agust	7,57	205,8	658,56	10	0,714	0,7904	5,290
15-Agust	7,15	126,2	277,64	46	0,442	0,3238	0,683
21-Agust	7,3	177,6	809,6	390	1,460	1,4118	13,041
28-Agust	7,21	64,47	193,41	93	0,816	0,7329	1,786
05-Sep	7,29	255,5	852,4	48	0,625	0,6333	3,313
11-Sep	7,48	105,12	283,824	38	0,771	0,8114	2,887
18-Sep	7,39	102,34	266,084	20	0,720	0,7155	2,338
25-Sep	6,44	9,15	34,45	93	0,892	0,9966	7,431
30-Sep	7,12	305,3	641,13	28	0,728	0,7619	4,629
06-Okt	7,15	74,3	208,04	42	0,629	0,5106	1,334
12-Okt	6,68	77,72	303,5	66,7	0,401	0,5393	2,373
mean	7,039	183,267	513,113	77,085			
varians	0,342	11354,29	80596,448	8764,523			

**Lampiran B. Output Statistika Deskriptif**

Keterangan	Jul-15	Agust-15	Sep-15	Okt-15
Produksi Gula	90.942,80	116.829,30	98.304,90	39.332,50
Debit Air Limbah	2304,00	147502,00	126321,00	50569,00



```
MTB > Describe 'pH' - 'TSS';
```

```
SUBC> Mean;
```

```
SUBC> Variance;
```

```
SUBC> Minimum;
```

```
SUBC> Maximum.
```

**Descriptive Statistics: pH; BOD; COD; TSS**

Variable	Mean	Variance	Minimum	Maximum
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

### Lampiran C. Output Uji Bartlett

<b>KMO and Bartlett's Test</b>				
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.				<b>,452</b>
Bartlett's Test of Sphericity		Approx. Chi-Square		<b>33,848</b>
		df		<b>6</b>
		Sig.		<b>,000</b>
<b>Matriks Korelasi</b>				
1	-0,00129	-0,06659	0,09314	
-0,00129	1	0,909185	0,199745	
-0,06659	0,909185	1	0,339791	
0,09314	0,199745	0,339791	1	
$ R  = 0.13388$				
$\chi^2_{(\alpha; \frac{1}{2}p(p-1))} = 12.592$				
$\chi^2 = - \left[ m - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right] \ln  R $				
$\chi^2 = - \left[ 20 - 1 - \frac{2(4) + 5}{6} \right] \ln (0.13388)$				
$\chi^2 = 33.84762$				

**Lampiran D. Distribusi Normal***Syntax*

```

macro
qq x.1-x.p
mconstant i n p t chis
mcolumn d x.1-x.p dd pi q ss tt
mmatrix s sinv ma mb mc md
let n=count(x.1)
cova x.1-x.p s
invert s sinv
do i=1:p
  let x.i=x.i-mean(x.i)
enddo
do i=1:n
  copy x.1-x.p ma;
  use i.
  transpose ma mb
  multiply ma sinv mc
  multiply mc mb md
  copy md tt
  let t=tt(1)
  let d(i)=t
enddo
set pi
  1:n
end
let pi=(pi-0.5)/n
sort d dd
invcdf pi q;
chis p.
plot q*dd
invcdf 0.5 chis;
chis p.
print chis
let ss=dd<chis
print ss
let t=sum(ss)/n
print t
if t>0.5

```

```

note distribusi data multinormal
endif
if t<=0.5
note distribusi data bukan multinormal
endif
endmacro

```

### Output

```

MTB > %D:\BISMILLAH\MULTINORMAL.txt c1-c4
Executing from file: D:\BISMILLAH\MULTINORMAL.txt

```

```

Answer = 1,7239
Answer = 1,7879
Answer = 1,4927
Answer = 12,1479
Answer = 2,4790
Answer = 13,3716
Answer = 0,5219
Answer = 3,7737
Answer = 0,7935
Answer = 3,5780
Answer = 0,9748
Answer = 13,8775
Answer = 1,6423
Answer = 4,2850
Answer = 1,2353
Answer = 1,2327
Answer = 5,0646
Answer = 3,3797
Answer = 1,1896
Answer = 1,4485

```

### Scatterplot of q vs dd Data Display

```

t      0,600000
distribusi data multinormal

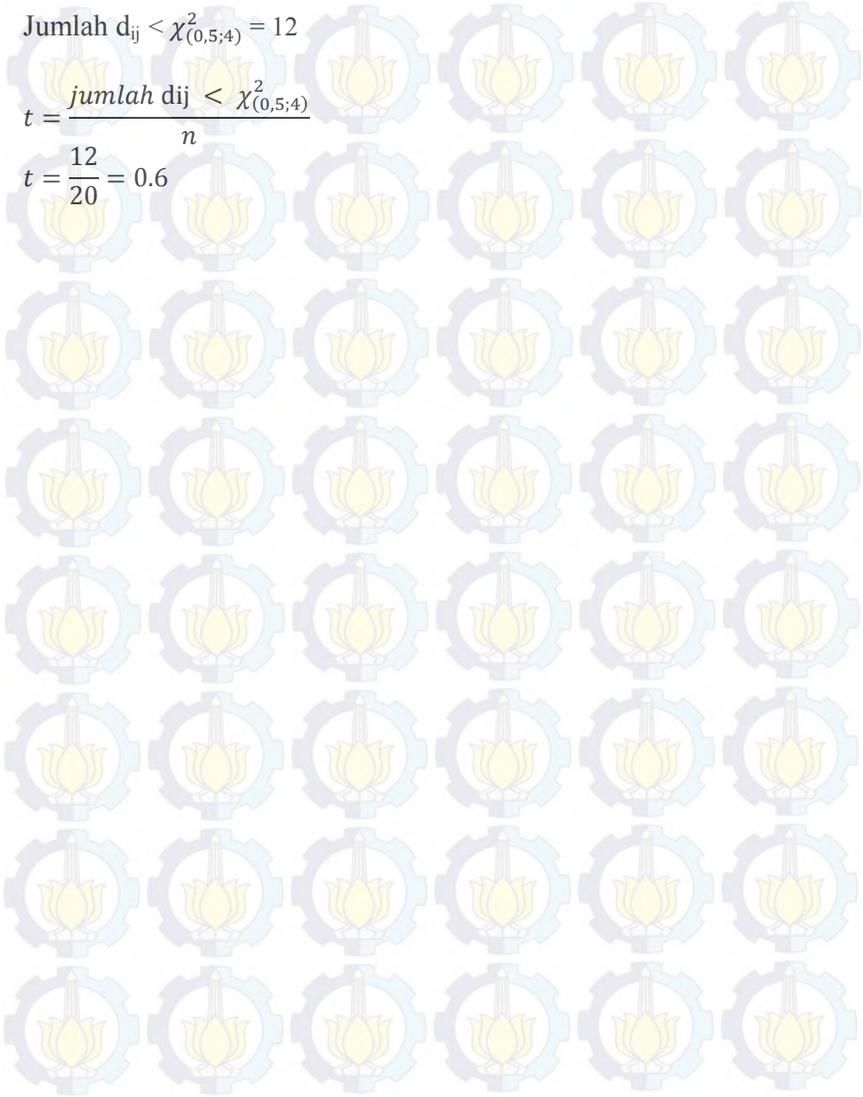
```

$$\chi^2_{(0,5;4)} = 3,35669$$

$$\text{Jumlah } d_{ij} < \chi^2_{(0,5;4)} = 12$$

$$t = \frac{\text{jumlah } d_{ij} < \chi^2_{(0,5;4)}}{n}$$

$$t = \frac{12}{20} = 0.6$$



## Lampiran E. Indeks Kapabilitas Proses Multivariat *Syntax*

```

macro
cova x.1-x.p
mconstant n i t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 c.1-c.p k2 k chi ep sbaru
mcolumn x.1-x.p b.1-b.p vek.1-vek.19 cm1 sbr d.1-d.p
mmatrix am1 am2 am3 ainv am5 am6 mm mtt mvek mvekt s cm2 cm3
cm4 vo voin
noecho
let n=count(x.1)
define 0 1 1 s
print s
do i=1:p
let b.i=x.i-mean(x.i)
enddo
copy x.1-x.p am1
cova x.1-x.p vo
print vo
inve vo voin
print voin
trans am1 am2
mult am2 am1 am3
inve am3 ainv
print ainv
copy b.1-b.p mm
print mm
trans mm mtt
print mtt
copy mtt vek.1-vek.19
do i=1:n
copy vek.i mvek
trans mvek mvekt
mult mvekt ainv am5
mult am5 mvek am6
add s am6 s
print i s
enddo
print s
copy s sbr

```

```

print sbr
copy sbr sbaru
print sbaru
let t1=7.5
let t2=30
let t3=50
let t4=25
let d.1=mean(x.1)
let d.2=mean(x.2)
let d.3=mean(x.3)
let d.4=mean(x.4)
print d.1-d.4
let c.1=mean(x.1)-t1
let c.2=mean(x.2)-t2
let c.3=mean(x.3)-t3
let c.4=mean(x.4)-t4
copy c.1-c.4 cm1
print cm1
trans cm1 cm2
trans cm2 cm3
print cm2 cm3
mult cm2 voin cm4
print cm4
mult cm4 cm3 k2
print k2
let k=sqrt(k2)
print k
invecdf 0.9973 chi;
chis p.
print chi
let cp=(k/chi)*sqrt((n-1)*p/sbaru)
print cp
endmacro

```

### *Output*

```

MTB > %D:\BISMILLAH\data2.txt c1-c4
Executing from file: D:\BISMILLAH\data2.txt

```

### **Data Display**

Matrix s

0

**Data Display**

Matrix vo

0,1057	9,6	20,4	5,98
9,5699	11619,8	27817,5	2080,59
20,4230	27817,5	81038,7	9457,19
5,9821	2080,6	9457,2	9250,03

**Data Display**

Matrix voin

10,6422	-0,0171813	0,0040513	-0,0071599
-0,0172	0,0005529	-0,0001956	0,0000867
0,0041	-0,0001956	0,0000836	-0,0000441
-0,0072	0,0000867	-0,0000441	0,0001383

**Data Display**

Matrix ainv

0,0046396	-0,0000504	-0,0000292	-0,0000272
-0,0000504	0,0000293	-0,0000105	0,0000042
-0,0000292	-0,0000105	0,0000045	-0,0000023
-0,0000272	0,0000042	-0,0000023	0,0000075

**Data Display**

Matrix mm

0,201053	-107,407	-327,208	-56,826
-0,078947	99,193	144,253	-57,826
-0,038947	114,093	233,712	-36,826
0,471053	246,193	469,512	203,174
-0,708947	60,693	244,092	-46,826
0,001053	-58,397	-149,229	19,174
-0,078947	76,393	353,112	-28,826
0,091053	35,923	-4,719	-24,826
0,421053	26,693	159,272	-66,826
0,001053	-52,907	-221,648	-30,826
0,151053	-1,507	310,312	313,174
0,061053	-114,637	-305,878	16,174
0,141053	76,393	353,112	-28,826
0,331053	-73,987	-215,464	-38,826
0,241053	-76,767	-233,204	-56,826
-0,708947	-169,957	-464,838	16,174
-0,028947	126,193	141,842	-48,826
0,001053	-104,807	-291,248	-34,826

-0,468947 -101,387 -195,788 -10,126

### Data Display

Matrix mtt

0,201	-0,079	-0,039	0,471	-0,709	0,001
-0,079	0,0911				
-107,407	99,193	114,093	246,193	60,693	-58,397
76,393	35,9226				
-327,208	144,253	233,712	469,512	244,092	-149,229
353,112	-4,7187				
-56,826	-57,826	-36,826	203,174	-46,826	19,174
-28,826	-24,8263				

0,421	0,001	0,151	0,061	0,141	
0,331	0,241	-0,709			
26,693	-52,907	-1,507	-114,637	76,393	-
73,987	-76,767	-169,957			
159,272	-221,648	310,312	-305,878	353,112	-
215,464	-233,204	-464,838			
-66,826	-30,826	313,174	16,174	-28,826	-
38,826	-56,826	16,174			
-0,029	0,001	-0,469			
126,193	-104,807	-101,387			
141,842	-291,248	-195,788			
-48,826	-34,826	-10,126			

Answer = 0,0851

Answer = 0,0851

### Data Display

i 1,00000

Matrix s

0,0851439

Answer = 0,0988

Answer = 0,1839

### Data Display

i 2,00000

Matrix s

0,183917

Answer = 0,0856

Answer = 0,2695

**Data Display**

i 3,00000

Matrix s

0,269477

Answer = 0,6223

Answer = 0,8917

**Data Display**

i 4,00000

Matrix s

0,891742

Answer = 0,1274

Answer = 1,0191

**Data Display**

i 5,00000

Matrix s

1,01910

Answer = 0,0248

Answer = 1,0439

**Data Display**

i 6,00000

Matrix s

1,04387

Answer = 0,2077

Answer = 1,2515

**Data Display**

i 7,00000

Matrix s

1,25155

Answer = 0,0378

Answer = 1,2894

**Data Display**

i 8,0000

Matrix s  
1,28938

Answer = 0,1110

Answer = 1,4004

**Data Display**

i 9,0000

Matrix s  
1,40040

Answer = 0,0489

Answer = 1,4493

**Data Display**

i 10,0000

Matrix s  
1,44926

Answer = 0,7230

Answer = 2,1723

**Data Display**

i 11,0000

Matrix s  
2,17229

Answer = 0,0857

Answer = 2,2580

**Data Display**

i 12,0000

Matrix s  
2,25798

Answer = 0,2018

Answer = 2,4598

**Data Display**

i 13,0000

Matrix s  
2,45983

Answer = 0,0423

Answer = 2,5021

**Data Display**

i 14,0000

Matrix s  
2,50209

Answer = 0,0510

Answer = 2,5531

**Data Display**

i 15,0000

Matrix s  
2,55307

Answer = 0,1565

Answer = 2,7095

**Data Display**

i 16,0000

Matrix s  
2,70952

Answer = 0,1809

Answer = 2,8904

**Data Display**

i 17,0000

Matrix s  
2,89044

Answer = 0,0609

Answer = 2,9514

**Data Display**

i 18,0000

Matrix s

2,95137

Answer = 0,0504

Answer = 3,0018

**Data Display**

i 19,0000

Matrix s

3,00180

**Data Display**

Matrix s

3,00180

**Data Display**

sbr

3,00180

**Data Display**

sbaru 3,00180

**Data Display**

Row	d.1	d.2	d.3	d.4
1	7,14895	179,107	499,288	76,8263

**Data Display**

cm1

-0,351	149,107	449,288	51,826
--------	---------	---------	--------

**Data Display**

Matrix cm2

-0,351053	149,107	449,288	51,8263
-----------	---------	---------	---------

Matrix cm3

-0,351

149,107

449,288

51,826

**Data Display**

Matrix cm4

-4,84873 0,0050959 0,0046905 0,0027968

Answer = 4,7143

**Data Display**

k2 4,71430

**Data Display**

k 2,17125

**Data Display**

chi 16,2512

**Data Display**

cp 0,654334

$$Cp = \frac{k}{\chi_{p,0,9973}^2} \left[ \frac{(v-1)p}{S} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{2,17125}{16,2512} \left[ \frac{(19-1)4}{3,0018} \right]^{\frac{1}{2}} = 0.654$$





## **BIODATA PENULIS**

Penulis dilahirkan di Kediri, 1 Desember 1994 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dan bertempat tinggal di Dsn. Boro Lor, Ds. Sumberjo RT/RW 02/02, Kec. Purwoasri, Kab. Kediri 64154. Sampai buku ini selesai ditulis, penulis telah menyelesaikan pendidikan di TK Dharma wanita, SDN Sumberjo, MTs. Perguruan

Mu'allimat Tjoekir, SMA Negeri 1 Jombang dan melanjutkan studinya di Diploma III Jurusan Statistka FMIPA ITS Surabaya pada tahun 2013 dengan NRP 1313030088. Penulis mengawali pengalaman organisasinya sebagai staff magang Sosmas BEM-ITS pada semester 2, kemudian menjadi kepala bidang Kominfo UK Pramuka ITS, staff divisi fundrising Mahagana ITS, ketua departemen Sosmas IMJ Sepuluh Nopember dan staff Hublu HIMADATA-ITS periode 2014/2015, pada tahun ketiga penulis diamanahi menjadi kepala bidang Humas UK Pramuka ITS sekaligus menjadi kepala biro Sosmas departemen Hublu HIMADATA-ITS periode 2015/2016. Begitu banyak pengalaman yang didapatkan penulis sampai akhirnya penulis mendapatkan kesempatan untuk kerja praktek di PG. Djombang Baru pada akhir semester 4. Selama menyelesaikan buku ini, penulis tak luput dari kesalahan sekecil apapun. Oleh karena itu untuk kritik dan saran dapat dikirim melalui email penulis [tshuya12@gmail.com](mailto:tshuya12@gmail.com).