TUGAS AKHIR - SS 145561

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PAVING 4.8MK400 DI PT. MERAK JAYA PRACETAK PASURUAN

Ni'matul Bariroh
NRP 10611500000043

Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, MT

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR – SS 145561

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI PAVING 4.8MK400 DI PT. MERAK JAYA PRACETAK PASURUAN

Ni'matul Bariroh
NRP 10611500000043

Pembimbing
Dra. Lucia Aridinanti, MT

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

FINAL PROJECT – SS 145561

CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF PAVING 4.8MK400 PRODUCTION IN PT. MERAK JAYA PRACETAK

Ni'matul Bariroh
NRP 10611500000043

Supervisor
Dra. Lucia Aridinanti, MT

Programme Study of Diploma III
Department of Business Statistics
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KAPABILTAS PROSES PRODUKSI PAVING 4.8MK400 DI PT. MERAK JAYA PRACETAK PASURUAN

TUGAS AKHIR
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
NI'MATUL BARIROH
NRP. 10611500000043

SURABAYA, 11 JULI 2018

Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir

Dra. Lucia Aridinanti, MT.
NIP. 19610131 198701 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi ITS

Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si.
NIP. 19740328 199802 1 001

iii

ANALISIS KAPABILITAS PROSES PRODUKSI *PAVING TYPE 4.8M.K400* DI PT. MERAK JAYA PRACETAK PASURUAN

Nama Mahasiswa : Ni'matul Bariroh
NRP : 10161500000043
Departemen : Statistika Bisnis, Fakultas Vokasi ITS
Pembimbing : Dra. Lucia Aridinanti M, T.

Abstrak

PT. MERAK JAYA PRACETAK merupakan perusahaan yang bergerak di bidang beton siap pakai (Ready Mix Concrete). Perusahaan ini menjaga kepuasan pelanggan dengan menghasilkan produk yang berfokus pada kualitas. Selama ini pengendalian kualitas di PT. MERAK JAYA PRACETAK belum dilakukan secara statistik tetapi hanya sebatas membandingkan hasil produksi dengan batas spesifikasi dan belum diketahui tingat kapabilitas proses produksi. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kapabilitas proses produksi paving type 4.8M.K400 dengan menggunakan peta kendali Generalize variance dan T^2 Hotteling . Proses terkendali dan indeks Cp pada fase 1 dan fase II adalah 2,361 dan 3,372 sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pada fase I dan II sudah kapabel karena proses terkendali dan indeks Cp lebih dari 1.

Kata Kunci :*Diagram Ishikawa, Indeks Kapabilitas Proses, Paving Type 4.8M.K400, Peta Kendali Generalize Variance dan T^2 Hotteling*

CAPABILITY PROCESS ANALYSIS OF PAVING 4.8MK400 IN PT. MERAK JAYA PRACETAK PASURUAN

Name : **Ni'matul Bariroh**
NRP : **10611500000109**
Department : **Bussiness Statistic, Faculty of Vocations ITS**
Supervisor : **Dra. Lucia Aridinanti, M.T.**

Abstract

PT. MERAK JAYA PRACETAK is a company that engaged in Ready Mix Concrete (Ready Mix Concrete). This company maintains customer satisfaction by producing product focusing on quality. During the quality control in PT. MERAK JAYA PRACETAK has not been done statistically yet only limited to compare the production with the specification limitation and have not known yet the capability level of production process. Therefore this research was conducted to analyze the production process of paving type 4.8M.K400 with Generalize variance and T^2 Hotteling control char. The production process of paving 4.8MK400 which already capable showed by a capability index of 2.361 in phase I and 3.372 in phase II because capability index more than 1.

***Keywords**: Generalize variance and T^2 Hotteling Control Map, Index Process Capability, Ishikawa Diagram, Paving Type 4.8M.K400,*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "**Analisis Kapabilitas Proses Produksi Paving 4.8MK400 di PT. Merak Jaya Pracetak Pasuruan."**. Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari setiap bimbingan, bantuan, semangat, petunjuk, dan doa yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa sabar memberikan bimbingan, arahan, nasehat, dan semangat bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Ir. Mutiah Salamah Chamid, M.Kes. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Mike Prastuti, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji dan dosen validator yang telah memberikan kritik dan saran untuk Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS.
5. Bapak Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si selaku Sekretaris Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS.
6. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si., selaku Kepala Program Studi Diploma III Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak di PT. Merak Jaya Pracetak, Pasuruan, terutama Bapak Samsul Munir yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama pengambilan data untuk Tugas Akhir.

9. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, bimbingan, dukungan, kasih sayang, dan kesabaran dalam mendidik baik secara materi, moril, maupun spiritual.
10. Teman-teman HEROES 2015 yang berjuang bersama untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Teman-teman LITBANG HIMADATA-ITS dan HIMADATA-ITS Kabinet Kreasi yang selalu memotivasi, memberi semangat, dan mengingatkan penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
12. Sahabat penulis yaitu Nabil, Iqom, Fazza, Dina, Zila, Dini dll yang selalu hadir untuk memberikan kebahagiaan disaat penulis senang ataupun sedih dan selalu mendoakan untuk keberhasilan penulis.
13. Seluruh pihak yang telah banyak membantu penulis dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar memberikan wawasan baru untuk tahap pengembangan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan untuk semua pihak.

Surabaya, 11 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL..... i
TITLE PAGE..... ii
LEMBAR PENGESAHAN..... iii
ABSTRAK..... iv
ABSTRACT.....v
KATA PENGANTAR..... vi
DAFTAR ISI..... viii
DAFTAR TABEL.....x
DAFTAR GAMBAR..... xi
DAFTAR LAMPIRAN..... xii
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan.....2
1.4 Manfaat.....3
1.5 Batasan Masalah.....3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Peta Kendali *Generalized Variance* 5
2.2 Peta Kendali T^2 *Hotteliing*.....6
2.3 Indeks Kapabilitas Proses.....13
2.4 Diagram Ishikawa.....14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN
3.1 Variabel Penelitian 17
3.2 Teknik Pengambilan Sampel.....18
3.3 Langkah Analisis Data 19
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN
4.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Paving 4.8MK400 Fase I.....23
4.2 Indeks Kapabilitas Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I.....27
4.3 Pemeriksaan Homogenitas Matriks Varians Kovarians 30

Halaman

4.4 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Paving 4.8MK400 Fase II 31
4.5 Indeks Kapabilitas Proses Produksi 4.8MK400 Fase II 34
4.6 Faktor Yang Menyebabkan *Out Of Control* Proses Produksi Paving 4.8MK400 37
BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 43
BIODATA PENULIS 57

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1 MANOVA 11
Tabel 2.2 Distribusi *Wilks' Lamda* 12
Tabel 3.1 Karakteristik Kualitas Variabel 18
Tabel 3.2 Struktur Data Pengamatan 18

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Diagram Sebab Akibat 15
Gambar 3.1 Diagram Alir..... 22
Gambar 4.1 *Chi-square Plot* Fase I..... 24
Gambar 4.2 Peta Kendali *Generalize Varians* Fase I..... 25
Gambar 4.3 Peta Kendali T^2 *Hotteling* Fase I..... 26
Gambar 4.4 Peta Kendali T^2 *Hotteling* Perbaikan ke-1..... 27
Gambar 4.5 Kapabiltas Proses Berat Fase I 28
Gambar 4.6 Kapabiltas Proses Tekanan Hancur Fase I 28
Gambar 4.7 Kapabiltas Proses Tegangan Hancur Fase I 29
Gambar 4.8 *Chi-square Plot* Fase II 32
Gambar 4.9 Peta Kendali *Generalize Varians* Fase II 33
Gambar 4.10 Peta Kendali T^2 *Hotteling* Fase II 34
Gambar 4.11 Kapabiltas Proses Berat Fase II..... 35
Gambar 4.12 Kapabiltas Proses Tekanan Hancur Fase II..... 35
Gambar 4.13 Kapabiltas Proses Tegangan Hancur Fase II..... 36
Gambar 4.14 Diagram Ishikawa..... 37

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Data Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I Bulan Desember 2017 43
Lampiran 2. Data Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I Bulan Desember 2017 45
Lampiran 3. *Output* Dependensi Fase 1 46
Lampiran 4. *Output* Dependensi Fase II 46
Lampiran 5. *Syntax* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat 47
Lampiran 6. *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase I.....48
Lampiran 7. *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase II 48
Lampiran 8. Nilai $\mathbf{d}_i^2$ setiap observasi fase I 49
Lampiran 9. Nilai $\mathbf{d}_i^2$ setiap observasi fase II 51
Lampiran 10. **N**ilai $|S|$ Fase I.....52
Lampiran 11. **N**ilai $|S|$ Fase II.....52
Lampiran 12. Nilai T^2 *Hotteling* Fase I 52
Lampiran 13. Nilai T^2 *Hotteling* Fase I Perbaikan ke-1 53
Lampiran 14. Nilai T^2 *Hotteling* Fase II 53
Lampiran 15. Pemeriksaan Homogenitas.....53
Lampiran 16. *Output* Uji *Bahren's Fisher* Perbandingan Fase.....54
Lampiran 17. Perhitungan Indeks Kapabilitas Proses Produksi Multivariat Fase I 54
Lampiran 18. Perhitungan Indeks Kapabilitas Proses Produksi Multivariat Fase II 54
Lampiran 19. Surat Pengambilan Data 55
Lampiran 20. Surat Pernyataan Keaslian Data.....56

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. MERAK JAYA PRACETAK merupakan perusahaan yang bergerak di bidang beton siap pakai (*Ready Mix Concrete*). Lahir sebagai cikal bakal perusahaan pada tahun 1989,UD. Merak Jaya pertama kali berdiri di Pasuruan Jawa Timur dan bergerak dalam bidang usaha pemecah batu (*stone crusher*). Pada tahun 2002 PT. MERAK JAYA PRACETAK yang bergerak dalam bidang beton siap pakai (*Ready Mix Concrete*) mendirikan *batching plant* pertama di Pasuruan Jawa Timur. Pada tahun 2011 PT. MERAK JAYA PRACETAK mendirikan batching plant di Bali. Pada tahun 2012 menambah batching plant di Karawang-Jakarta. Seiring berjalannya waktu, PT. MERAK JAYA PRACETAK telah mendirikan *batching plant* dengan metode Wet Mix dan Dry Mix diseluruh Jawa dan Bali. Setelah dilakukan penelitian secara statistik, diketahui bahwa selama ini pengendalian kualitas di PT. MERAK JAYA PRACETAK belum dilakukan secara statistika tetapi hanya sebatas membandingkan hasil produksi dengan batas spesifikasi dan belum diketahui tingkat kapabilitas proses produksinya. Kapabilitas proses adalah suatu ukuran untuk menunjukkan produk yang diproduksi stabil atau tidak, kapabilitas proses dapat dilihat melalui indeks kapabilitas proses yang disebut dengan Cp dengan ketentuan jika $Cp<1$ maka dikatakan proses tidak stabil jika $Cp=1$ maka dikatakan proses stabil, dan jika $Cp>1$ maka dikatakan proses sangat stabil (Montgomery, 2013).

PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur memiliki produk utama berupa paving, dimana Type 4.8 M.K 400 merupakan type yang paling diminati oleh pelanggan. Sebagai produk yang paling diminati oleh pelanggan, kualitas paving type

4.8MK400 harus diperhatikan. Sehingga adanya pengendalian kualitas statistika pada produk ini mutlak diperlukan. oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui stabilitas proses produksi pada produk paving Type 4.8 M.K 400 di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur. Salah satu metode untuk menjaga kualitas suatu produk agar tetap stabil dapat diketahui dengan cara menghitung indeks kapabilitas proses. Langkah awal menghitung indeks kapabilitas proses adalah mengetahui apakah suatu proses produksi terkendali atau tidak dengan cara menggunakan peta kendali. Pada penelitian ini peta kendali yang digunakan adalah peta kendali multivariate karena karakteristik kualitas variabel yang digunakan lebih dari satu yaitu berat, tekanan hancur dan tegangan hancur.

Proses produksi yang baik adalah proses produksi yang tidak mengalami pergeseran proses. Untuk mengetahui apakah terjadi pergeseran proses atau tidak maka digunakan fase I dan fase II. Pemilihan fase I dilakukan pada bulan Desember 2017 dan fase II pada bulan Januari 2018, pemilihan fase ini didasarkan untuk mengetahui apakah terjadi pergeseran proses produksi pada akhir tahun dan awal tahun. Proses produksi dikatakan stabil apabila indeks Cp lebih besar 1 atau sama dengan 1.

1.2 Rumusan Masalah

Selama ini pengendalian kualitas di PT. MERAK JAYA PRACETAK belum dilakukan secara statistik tetapi hanya sebatas membandingkan hasil produksi dengan batas spesifikasi dan belum diketahui tingkat kapabilitas proses produksi. Untuk itu, perlu dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui apakah terjadi *continuous improvement*, penurunan atau peningkatan kualitas produksi dengan indeks kapabiltas yang dapat diketahui dari tingkat presisi sehingga diketahui apakah produksi produksi terkendali atau tidak.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis Kapabilitas proses produksi *Paving Type 4.8 M.K 400* di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur.
2. Mengidentifikasi penyebab utama serta faktor-faktor penyebab jika terjadi *out of control* atau ketidaksesuaian pada proses produksi *Paving Type 4.8 M.K 400* di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi untuk PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur terhadap hasil analisis pengendalian kualitas statistika agar dapat melakukan perbaikan proses produksi.
2. Meningkatkan kualitas produk Paving Type 4.8 M.K 400 yang diproduksi dan meminimumkan adanya ketidaksesuaian pada proses produksi Paving Type 4.8 M.K 400 di di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur.

1.5 Batasan Masalah

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada pemeriksaan salah satu produk beton yang diproduksi di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur yaitu Paving Type 4.8 M.K 400 pada periode bulan Desember 2017 sampai dengan Januari 2018.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Syarat suatu proses dikatakan kapabel adalah terkendali secara statistik dan presisi tinggi serta akurasi tinggi. Untuk menyelidiki bahwa proses sudah terkendali secara statistik digunakan peta kendali, peta kendali yang digunakan pada kasus ini adalah peta kendali *Generalize variance* dan T^2 *Hotteling* karena variabel yang digunakan lebih dari satu dan antar variabel saling dependen.

Akurasi tinggi dapat dilihat dari nilai Cpk dan presisi tinggi dilihat dari nilai Cp dengan ketentuan jika nilai Cp>1 dan nilai Cpk>1 maka proses produksi kapabel. Perbandingan proses antar fase dilihat dengan menggunakan uji MANOVA. Berikut akan dijelaskan pengertian peta *Generalized Variance*, peta T^2 *Hotteling* indeks kapabilitas dan MANOVA serta asumsi yang menyertainya.

2.1 Peta Kendali *Generalized Variance*

Peta kendali *Generalized Variance* merupakan peta kendali yang digunakan untuk mengendalikan variabilitas proses yang dapat digambarkan dengan matriks kovarian $\boldsymbol{\Sigma}$, dimana determinan dari sampel kovarian matriks $|\boldsymbol{S}_t|$ secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat. Aproksimasi asimtomik normal digunakan untuk mengembangkan peta kendali untuk $|\boldsymbol{S}|$, sehingga dalam menaksir *mean* dan varians dari $|\boldsymbol{S}|$ dapat dilakukan dengan cara seperti pada Persamaan 2.1 dan 2.2 (Montgomery, 2013).

$$E(|\boldsymbol{S}_t|) = b_1|\boldsymbol{\Sigma}| \tag{2.1}$$

dan

$$Var(|\boldsymbol{S}_t|) = b_2|\boldsymbol{\Sigma}|^2 \tag{2.2}$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p}\prod_{i=1}^{p}(n-i) \tag{2.3}$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}}\prod_{i=1}^{p}(n-i)\left[\prod_{j=1}^{p}(n-j+2)-\prod_{j=1}^{p}(n-j)\right] \tag{2.4}$$

sehingga batas kendali dari peta kendali *generalized variance* adalah

$$\begin{aligned} BKA &= |\Sigma|\left(b_1 + 3\sqrt{b_2}\right) \\ GarisTengah &= b_1|\Sigma| \\ BKB &= |\Sigma|\left(b_1 - 3\sqrt{b_2}\right) \end{aligned} \tag{2.5}$$

2.2 Peta Kendali T^2 *Hotteling*

Peta kendali T^2 *Hotteling* merupakan suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui proses produksi telah terkendali secara statistik atau tidak, dimana terdapat dua atau lebih variabel yang saling dependen, serta berdistribusi normal multivariat. Karakteristik kualitasnya terdiri dari *p* variabel, yaitu $X_1, X_2,...,X_p$. Peta kendali T^2*Hotteling* memiliki subgrup berukuran *m*, dimana anggota tiap tiap subgrup adalah *n* dan *p* merupakan jumlah karakteristik yang diamati pada tiap-tiap sampel (Montgomery, 2013). Adapun struktur data dengan *p* variabel yang akan diamati pada *m* subgrup dapat dilihat pada tabel 2.1

keterangan :

i = ukuran subgrup, dimana i = 1,2,...,n

j = karakteristik kualitas, dimana j = 1,2,...,p

k = jumlah subgrup, dimana k = 1,2,...,m

x_{ijk} = nilai pengamatan pada observasi ke-i, karakteristik kualitas ke-j, dan subgroup ke-k

Untuk mencari rata-rata sampel dan varian dapat dilihat pada Persamaan 2.15 dan 2.16

$$\bar{x}_{.jk} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{ijk} \tag{2.6}$$

$$s_{.jk}^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{ijk} - \bar{x}_{.jk}\right)^2 \qquad (2.7)$$

Dimana x_{ijk} merupakan sampel ke-i pada karakteristik kualitas ke-j serta subgrup ke-k, sehingga matriks kovarian S dari rata-rata sampel berukuran p x p dapat dibentuk menjadi

$$\boldsymbol{S}_t = \begin{bmatrix} \bar{s}_{.1.}^2 & \bar{s}_{12} & \Lambda & \bar{s}_{.1p} \\ & \bar{s}_{.2.}^2 & \Lambda & \bar{s}_{.2p} \\ & & \mathrm{O} & \mathrm{M} \\ & & & \bar{s}_{.p}^2 \end{bmatrix}$$

Adapun nilai untuk peta kendali T^2 *Hotteling* sebagaimana pada Persamaan 2.8

$$\mathrm{T}_{\mathrm{k}}^2 = n\left(\bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j.}\right)' \boldsymbol{S}_t^{-1}\left(\bar{\mathbf{x}}_{.jk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j.}\right) \qquad (2.8)$$

Terdapat dua tahap yang berbeda pada penggunaan peta kendali T^2 *Hotteling*, yaitu tahap I dan tahap II, dimana tujuan utama pada tahap I adalah untuk mendapatkan pengamatan yang berada dalam batas kendali atau prosesnya terkendali, sehingga batas kendali dapat digunakan untuk tahap II yang merupakan pengontrolan produksi di masa depan.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \qquad (2.9)$$

$$BKB = 0$$

Pada tahap II batas kendali yang digunakan berdasarkan pada tahap I

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \qquad (2.10)$$

$$BKB = 0$$

Keterangan
BKA = Batas Kendali Atas
BKB = Batas Kendali Bawah

n = Banyaknya sampel tiap subgrup
m = Jumlah subgrup
p = Banyaknya karakteristik kualitas

Nilai $F_{\alpha,p,mn-m-p+1}$ merupakan nilai yang didapatkan dari tabel distribusi F.

Untuk menggunakan peta kendali diatas digunakan asumsi berikut.

2.2.1 Dependensi Variabel

Antar variabel dalam analisis multivariat harus saling dependen. Pengamatan dari *p* variabel dikatakan saling dependen apabila matriks korelasi antar variabel tidak sama dengan matriks identitas (Johnson & Wichern, 2007). Analisis dependensi variabel dapat dilihat sebagai berikut.

Hipotesis :

H_0 : $R = I$ (Antar variabel saling independen)

H_1 : $R \neq I$ (Antar variabel saling dependen)

Statistik uji untuk mengetahui hubungan antar variabel dapat dilihat pada Persamaan sebagai berikut.

$$\chi^2 = -\left\{n - 1 - \frac{2p+5}{6}\right\} \ln |\boldsymbol{R}| \tag{2.11}$$

$$\boldsymbol{R} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \Lambda & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \Lambda & r_{2p} \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{O} & \mathrm{M} \\ r_{p1} & r_{p2} & \Lambda & 1 \end{pmatrix} \tag{2.12}$$

H_0 ditolak jika $\chi^2 > \chi^2_{\alpha;1/2p(p-1)}$

Keterangan :

$\boldsymbol{R}$: Matriks korelasi antar variabel

$|\boldsymbol{R}|$: Determinan matriks korelasi antar variabel

n : Jumlah pengamatan

p : Jumlah Karakteristik Kualitas

2.2.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat digunakan untuk menguji apakah variabel-variabel yang diamati sudah berdistribusi normal. Distribusi normal multivariat digunakan ketika jumlah variabel lebih dari satu. Fungsi densitas peluang dari distribusi normal multivariat ditunjukkan pada Persamaan sebagai berikut (Johnson & Whincern, 2007).

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^p |\boldsymbol{\Sigma}|}} e^{-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})'\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})} \quad ,-\infty < \mathbf{x} < \infty \qquad (2.13)$$

Pengujian distribusi multivariat normal dapat dilakukan dengan menggunakan proporsi yang dijelaskan sebagai berikut.

Hipotesis :

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji untuk pengujian distribusi normal multivariat dapat dilihat pada Persamaan sebagai berikut.

$$d_{jk}^2 = \left(\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j.}\right)' \boldsymbol{S}^{-1} \left(\mathbf{x}_{ijk} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_{.j.}\right) \qquad (2.14)$$

$$\boldsymbol{S} = \begin{pmatrix} s_1^2 & s_{12} & \Lambda & s_{1p} \\ s_{21} & s_2^2 & \Lambda & s_{2p} \\ \mathrm{M} & \mathrm{M} & \mathrm{O} & \mathrm{M} \\ s_{p1} & s_{p2} & \Lambda & s_p^2 \end{pmatrix} \qquad (2.15)$$

Keterangan :

x_{ijk} : Vektor sampel ke-i, karakteristik kualitas ke-j dan subgrup ke-k

i : 1,2,...,n dan n adalah jumlah sampel tiap subgrup

j : 1,2,...,p dan p adalah jumlah karakteristik kualitas

k : 1,2,...,m dan m adalah jumlah subgrup

S^{-1} : Invers matriks varian kovarian *S*

H_0 ditolak jika proporsi $d_{jk}^2 \le \chi_{p;(0,5)}^2$ mendekati 50%.

Pemeriksaan distribusi multivariat normal dapat dilakukan dengan cara membuat *Q-Q plot* yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Menghitung nilai $d^2_{jk.}$
2. Mengurutkan nilai d^2_{jk} dari terkecil hingga terbesar.
3 Menentukan nilai $q = \chi^2_{(p;(n-j+0,5)/n)}$ dari tabel *chi-square*.
4 Membuat *scatterplot* antara d^2_i dan q, dikatakan berdistribusi normal jika multivariat jika plot d^2_{jk} mendekati garis linier.

4.1.3 Homogenitas Matriks Varian Kovarians

Untuk mengetahui apakah matriks varian kovarians homogen atau tidak maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *Box's M* dimana hipotesis sebagai berikut.

H_0 : $\boldsymbol{\Sigma}_1 = \boldsymbol{\Sigma}_2 = \ldots = \boldsymbol{\Sigma}_g$ (Matriks varian kovarians perlakuan 1, perlakuan 2, sampai perlakuan ke-g sama)

H_1 : minimal ada satu $\boldsymbol{\Sigma}_i \neq \boldsymbol{\Sigma}_g$, dimana $i = 1,2,...,g$

Statistik Uji :

$$C = (1-u)M \tag{2.18}$$

Dimana,

$$u = \left[\sum_{i=1}^{g} \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum_{i=1}^{g} (n_i - 1)} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \tag{2.19}$$

$$M = \left[\sum_{i=1}^{g} (n_i - 1) \right] \ln \left| S_{pooled} \right| - \sum_{i=1}^{g} \sum_{i=1}^{g} (n_i - 1) \left[\ln |S_i| \right] \tag{2.20}$$

$$S_{pooled} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{g} (n_i - 1)} \left\{ (n_1 - 1)S_1 (n_2 - 1)S_2 + \ldots.. + (n_g - 1)S_g \right\} \tag{2.21}$$

Keterangan:

g = banyaknya perlakuan

p = banyaknya variabel kualitas

Jika menggunakan taraf signifikan sebesar α dan aproksimasi berdistribusi χ^2 maka H_0 ditolak jika $C > \chi^2_{p(p+1)(g-1)/2;\alpha.}$

4.1.4 *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA)

Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) adalah teknik analisis yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua populasi atau lebih dalam kasus multivariat random sampel yang diperoleh dari *g* populasi (Johnson & Wichern, 2007). Sebelum melakukan pengujian, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebagai berikut.

1. $\mathbf{X}_{i1},\mathbf{X}_{i2},...,\mathbf{X}_{in}$ adalah sampel acak dengan ukuran n_i dari sebuah populasi dengan rata-rata μ_i dimana i =1,2,..,*g*. Sampel acak berasal dari populasi berbeda yang saling independen.
2. Matriks varian kovarian antar perlakuan identik.
3. Setiap populasi memiliki distribusi multivariat normal.

Persamaan model MANOVA untuk vektor-vektor rata-rata *g* populasi ditunjukan oleh Persamaan 2.22 sebagai berikut.

$$X_{ij} = \mu + \boldsymbol{\tau}_i + \mathbf{e}_{ij},\ j = 1,2,...,n_i \text{ dan } i = 1,2,...,g \qquad (2.22)$$

Dimana,

X_{ij} = nilai observasi ke-*j* dari grup ke-i

μ = rata-rata keseluruhan

$\boldsymbol{\tau}_i$ = efek grup ke-i terhadap respon

Susunan tabel MANOVA dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. MANOVA

Sumber Variasi	**Matriks Jumlah Kuadrat**	**Derajat Bebas**
Perlakuan	$B = \sum_{i=1}^{g} n_i(\bar{\bar{\mathbf{x}}}_i - \bar{\bar{\mathbf{x}}})(\bar{\bar{\mathbf{x}}}_i - \bar{\bar{\mathbf{x}}})'$	$g - 1$
Residual	$W = \sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_i}(\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_i)(\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \bar{\bar{\mathbf{x}}}_i)'$	$\sum_{i=1}^{g} n_i - g$
Total	$B + W = \sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_i}(\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})(\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \bar{\bar{\mathbf{x}}})'$	$\sum_{i=1}^{g} n_i - 1$

Setelah menyusun tabel MANOVA, maka selanjutnya menghitung nilai *wilks' Lambda* dan menguji hipotesis sebagai berikut.

H_0 : $\boldsymbol{\tau}_1 = \boldsymbol{\tau}_2 = \ldots = \boldsymbol{\tau}_g = 0$

H_1 : minimal ada satu pasang $\tau_i \neq 0$, dengan i =1,2,…,g

Statistik uji yang dapat digunakan untuk membuat keputusan adalah sebagai berikut.

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B}+\mathbf{W}|}$$

Jika sudah diperoleh nilai *wilks' Lambda* maka menghitung nilai F_{hitung} berdasarkan distribusi *wilks' Lambda* sebagai berikut.

Tabel 2.2 Distribusi *Wilks' Lambda*

Jumlah Variabel	**Jumlah Grup**	**Distribusi Sampling untuk Data Multivariat Normal**
p = 1	g ≥ 2	$\left(\frac{\sum_{l=1}^{g} n_l - g}{g-1}\right)\left(\frac{1-\Lambda^*}{\Lambda^*}\right) \sim F_{g-1,\sum_{l=1}^{g} n_l - g}$
p = 2	g ≥ 2	$\left(\frac{\sum_{l=1}^{g} n_l - g - 1}{g-1}\right)\left(\frac{1-\sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*}\right) \sim F_{2(g-1),2\left(\sum_{l=1}^{g} n_l - g - 1\right)}$
p ≥ 1	g = 2	$\left(\frac{\sum_{l=1}^{g} n_l - p - 1}{p}\right)\left(\frac{1-\Lambda^*}{\Lambda^*}\right) \sim F_{p,\sum_{l=1}^{g} n_l - p - 1}$
p ≥ 1	g = 3	$\left(\frac{\sum_{l=1}^{g} n_l - p - 2}{p}\right)\left(\frac{1-\sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*}\right) \sim F_{2p,2\left(\sum_{i=1}^{g} n_l - p - 2\right)}$

Jika menggunakan taraf signifikan sebesar α Tolak H_0 , apabila $p_{value} < \alpha$ atau $F_{hitung} > F_{tabel}$

Asumsi homogenitas varians kovarians yang tidak terpenuhi maka analisis perbedaan *treatment* dapat dilakukan dengan menggunakan uji *Behrens-Fisher* pada Persamaan (2.23) dengan hipotesis sebagai berikut :

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$

H_1 : minimal ada satu $\mu_\lambda \neq 0$; $\lambda = 1,2, \ldots , g$

Daerah kritis : H_0 ditolak jika $T^2 > \chi^2_{(\alpha,p)}$

Statistik Uji :

$$T^2 = \left[\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right]' \left[\frac{1}{n_1}\mathbf{S}_1 + \frac{1}{n_2}\mathbf{S}_2\right]^{-1} \left[\bar{\mathbf{x}}_1 - \bar{\mathbf{x}}_2\right] \qquad (2.23)$$

dimana,

$\bar{\mathbf{x}}_1$ = matriks rata-rata pada *treatmen* ke-1

$\bar{\mathbf{x}}_2$ = matriks rata-rata pada *treatmen* ke-2

$\mathbf{S}_1$ = matriks varians kovarians *treatmen* ke-1

$\mathbf{S}_2$ = matriks varians kovarians *treatmen* ke-2

2.3 Indeks Kapabilitas Proses

Indeks Kapabilitas proses adalah kemampuan suatu proses untuk menghasilkan suatu produk/jasa sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Kapabilitas proses merupakan bagian yang sangat penting dalam keseluruhan peningkatan kualitas. Suatu proses dikatakan kapabel jika proses memenuhi kondisi berikut (Montgomery, 2013).

1. Proses terkendali secara statistik.
2. Proses memenuhi batas spesifikasi.
3. Proses memiliki akurasi dan presisi tinggi.

Suatu proses dikatakan terkendali secara statistik jika variasi yang terjadi hanya *random causes*. Kemampuan proses dapat dinyatakan sebagai persentase produk yang berada di dalam spesifikasi dimana dapat dilihat dari nilai presisi dan akurasi. Presisi adalah ukuran kedekatan antar hasil pengamatan, sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan antara hasil

pengamatan dengan target yang ditetapkan. Indeks kapabilitasnya dapat digunakan sebagai tolok ukur untuk mengidentifikasi kapabel tidaknya suatu proses. Asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan analisis kapabilitas proses multivariat adalah peta kendali multivariat sudah dalam keadaan terkendali dan asumsi multivariat juga telah terpenuhi. Indeks kapabilitas multivariat dapat dihitung menggunakan metode rata-rata pembobot (*weighting average*) seperti berikut.

$$MC_P = \sum_{j=1}^{p} W_j C_P(X_j)$$
$$MC_{PK} = \sum_{j=1}^{p} W_j C_{PK}(X_j) \tag{2.24}$$

dengan

$$C_P(X_j) = \frac{\text{BSA} - \text{BSB}}{6\sigma}$$
$$C_{PK}(X_j) = \min\left(\frac{\text{BSA} - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - \text{BSB}}{3\sigma}\right) \tag{2.25}$$
$$\sum_{j=1}^{p} W_j = 1$$

Keterangan:

C_P = Indeks Kapabilitas Potensial

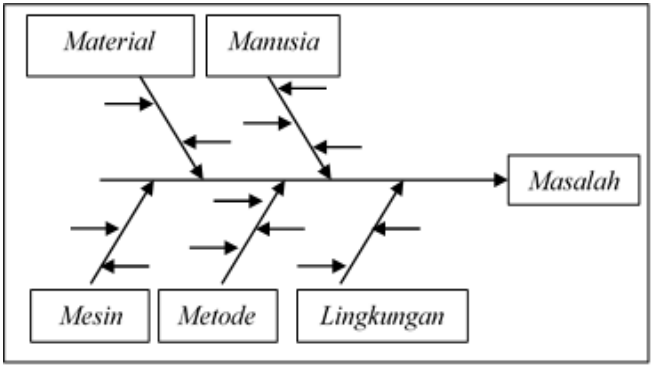
C_{PK} = Indeks Kapabilitas *Performance*

MC_P dan MC_{PK} masing-masing ekuivalen dengan C_P dan C_{PK} pada kasus multivariat dan Wj menunjukkan bobot untuk masing-masing variabel karakteristik kualitas berdasarkan tingkat kepentingan variabel (Raissi, 2009).

2.4 Diagram *Ishikawa*

Diagram *ishikawa* merupakan salah satu dari tujuh perangkat statistik yang digunakan untuk mengidentifikasi masalah kualitas. Diagram ini juga dikenal dengan *fishbone diagram* atau tulang ikan, disebut tulang ikan karena bentuknya yang mirip dengan tulang ikan. Diagram *ishikawa* menunjukan pada proses produksi penyebab terjadinya suatu masalah pada umumnya disebabkan

oleh 4M+1E yaitu *machine* (mesin), *method* (metode), *material* (bahan), *man* (manusia) dan *environment* (lingkungan). Dalam penggunaanya, permasalahn diletakan pada kepala ikan, sedangkan penyebab dari permasalahn tersebut diletakan pada tulang ikan yang dikelompokkan sesuai dengan grupnya masing-masing (Heizer, 2009).



Gambar 2.1 Diagram Sebab Akibat

(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah karakteristik kualitas dari *Paving Type 4.8 M.K 400* di PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur. Peta kendali yang digunakan adalah peta kendali multivariat karena diduga berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur saling dependen. Subgrup yang digunakan adalah lot. Lot adalah jumlah *Paving Type 4.8 M.K 400* yang dipesan oleh konsumen dalam satuan pcs. Ukuran lot berkisar antara 1000 hingga 50000 pcs, tiap lot dikerjakan dalam kurun waktu minimal 28 hari. Ukuran sampel yang diambil adalah 10 pcs untuk tiap lot dengan keterangan karakteristik kualitas sebagai berikut.

1. **Berat (x_1):** Berat dari suatu benda adalah gaya yang disebabkan oleh gravitasi berkaitan dengan massa benda tersebut. Massa benda adalah tetap dimana-mana, nmun berat sebuah benda akan berubah-ubah sesuai dengan besarnya percepatan gravitasi di tempat tersebut. Diukur menggunakan alat ukur timbangan dengan satuan Kg.
2. **Tegangan Hancur (x_2):** Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Tegangan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Diukur menggunakan alat tekan *hidroliyc* dengan satuan mpa (*megapascal)* atau KN.
3. **Tekanan Hancur (x_3):** Tekanan (simbol: p atau P) adalah satuan fisika untuk menyatakan gaya (F) per satuan luas (A). Satuan tekanan sering digunakan untuk mengukur kekuatan dari suatu cairan atau gas. Diukur menggunakan alat tekan *hidroliyc* dengan satuan mpa (*megapascal)* atau Kg/cm^2.

Adapun rangkuman karakteristik kualitas variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Kualitas Variabel

Variabel	Karakteristik Kualitas	Spesifikasi	Satuan
x_1	Berat *Paving Type 4.8 M.K 400*	3800 ± 700 gr	Gram
x_2	Tegangan Hancur Paving Type 4.8 M.K 400	700 ± 300 KN	(KN)
x_3	Tekanan Hancur Paving Type 4.8 M.K 400	700 ± 300 Kg/cm^2	(Kg/cm^2)

3.2 Teknik Pengambilan Sampel

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari PT MERAK JAYA PRACETAK Pasuruan, Jawa Timur pada bulan Desember 2017 sebagai fase I kemudian Januari 2018 sebagai fase II berdasarkan surat pengambilan data pada Lampiran 19 dan surat keterangan keaslian data pada Lampiran 20. Penetapan fase digunakan untuk melihat perubahan pergeseran produksi. Struktur data yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan karakteristik kualitas variabel ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Struktur Data Pengamatan

Bulan	Sampel	Berat	Tekanan Hancur	Tegangan Hancur
Desember 2017	1	x_{111}	x_{121}	x_{131}
	2	x_{211}	x_{221}	x_{231}
	:	:	:	:
	5	x_{511}	x_{521}	x_{531}
Januari 2017	1	x_{112}	x_{122}	x_{132}
	2	x_{212}	x_{222}	x_{232}
	:	:	:	:
	5	x_{521}	x_{522}	x_{532}

3.3 Langkah Analisis Data

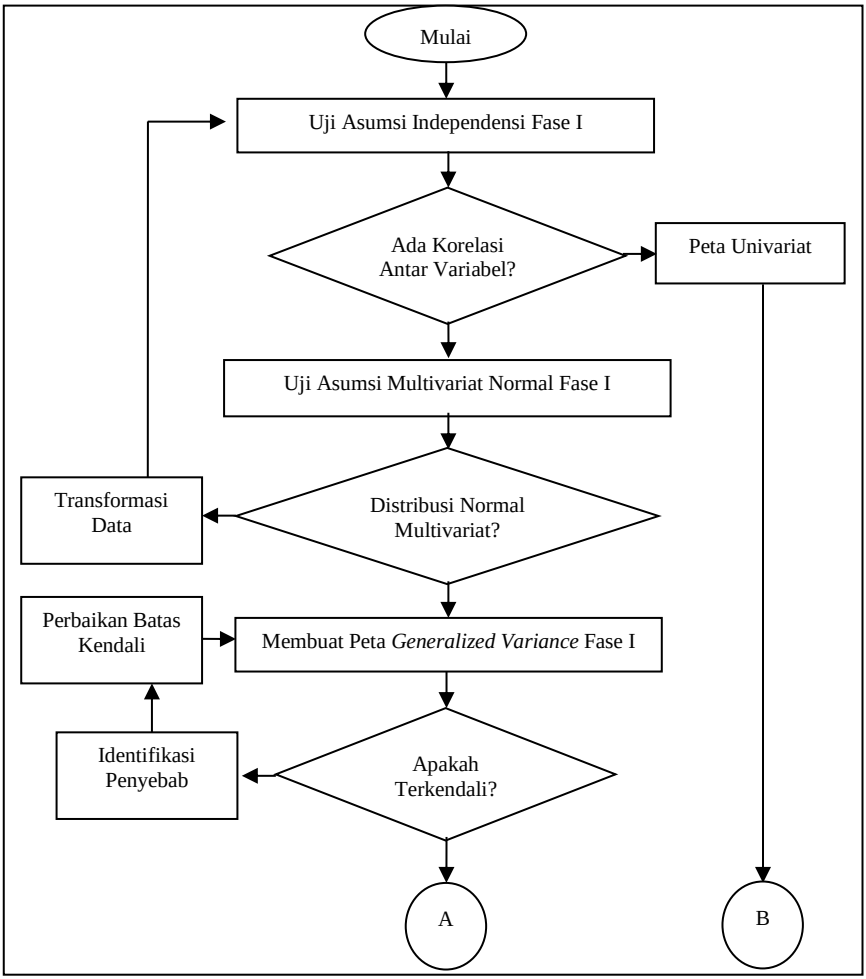
Langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

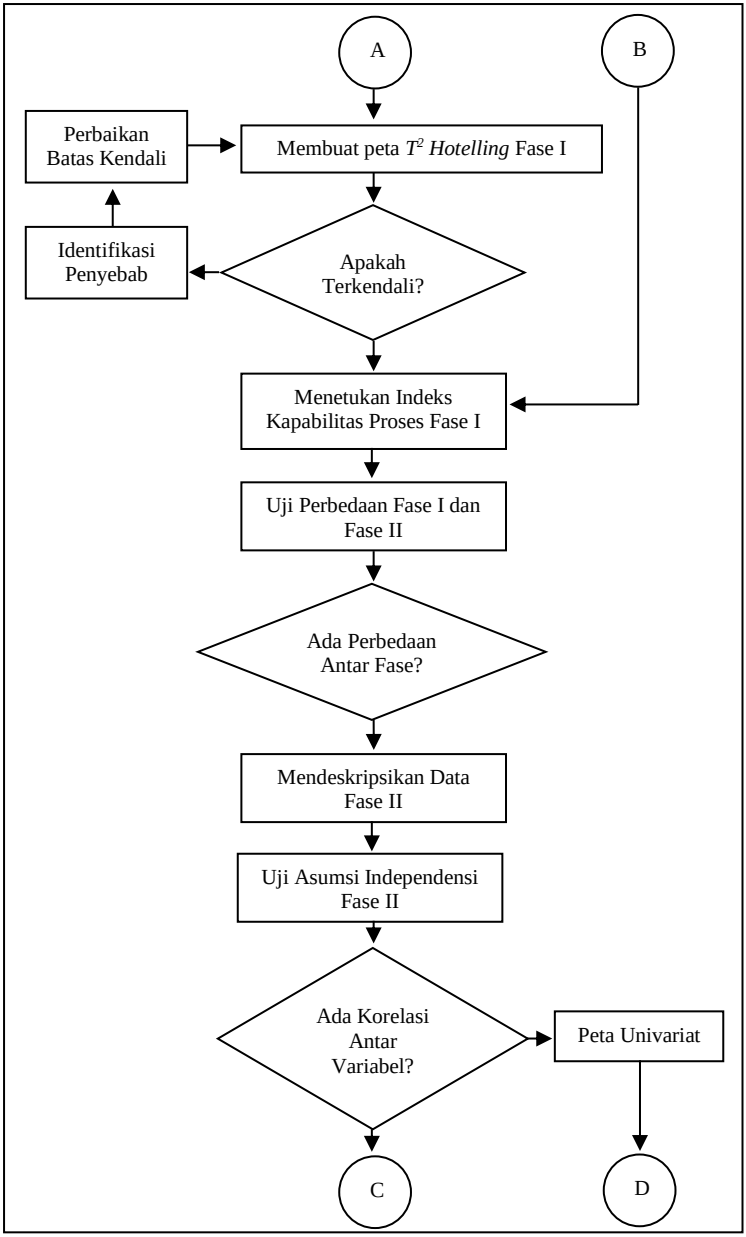
1. Melakukan analisis pengendalian kualitas produksi pada produk *Paving Type 4.8 M.K 400* berdasarkan karakterikstik kualitas variabel
   a. Melakukan pengujian independensi pada variabel berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur untuk fase I.
   b. Melakukan pemeriksaan distribusi normal multivariat pada variabel berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur untuk fase I.
   c. Membuat peta kendali *Generalized Variance* Fase I dan T^2 *Hotelling* Fase I. Jika terdapat pengamatan yang *out of control*, mencari penyebab masalah dengan melakukan tinjauan kembali pada data masa lalu.
2. Menghitung indeks kapabilitas proses pada produk *Paving Type 4.8 M.K 400.*
3. Melakukan pemeriksaan homogenitas matriks varians kovarians pada variabel berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur menggunakan analisis MANOVA
   a. Melakukan analisi perbandingan fase I dengan fase II apabila terdapat pebedaan maka untuk peta kendali fase II menggunakan batas kendali pada fase I begitu pula sebaliknya.
4. Melakukan analisis pengendalian kualitas produksi pada produk *Paving Type 4.8 M.K 400* berdasarkan karakterikstik kualitas variabel
   d. Melakukan pengujian independensi pada variabel berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur untuk fase II.
   e. Melakukan pemeriksaan distribusi normal multivariat pada variabel berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur untuk fase II.
   f. Membuat peta kendali *Generalized Variance* Fase II dan T^2 *Hotelling* Fase II. Jika terdapat pengamatan yang

out of control, mencari penyebab masalah dengan melakukan tinjauan kembali pada data masa lalu.

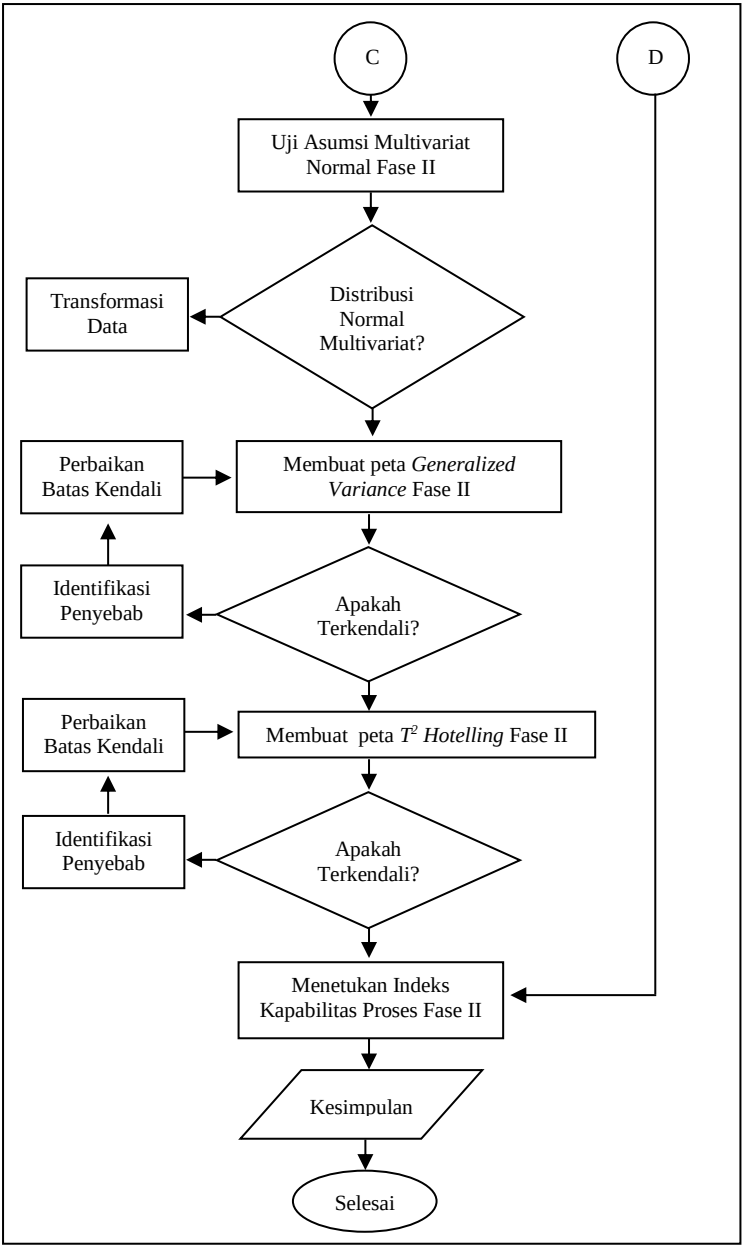
5. Menghitung indeks kapabilitas proses pada produk *Paving Type 4.8 M.K 400* pada fase II
6. Membuat diagram ishikawa untuk mengidentifikasi akar penyebab dari pengamatan yang out of control.
7. Menginterpretasi hasil analisis data.
8. Menarik kesimpulan.

Diagram alir penelitian berdasarkan karakteristik kualitas variabel ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Paving 4.8MK400 Fase I

Sebelum dilakukan pengendalian kualitas dengan peta kendali terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu, antara lain dependensi antar variabel dan berdistribusi normal multivariat. Berikut merupakan hasilnya.

4.1.1 Dependensi Variabel Berat, Tekanan hancur, dan Tegangan Hancur Paving 4.8MK400 Fase I

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variabel berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur. Berikut merupakan hipotesis dan hasil dari pengujian.

H_0 : R=1 (berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur saling independen)

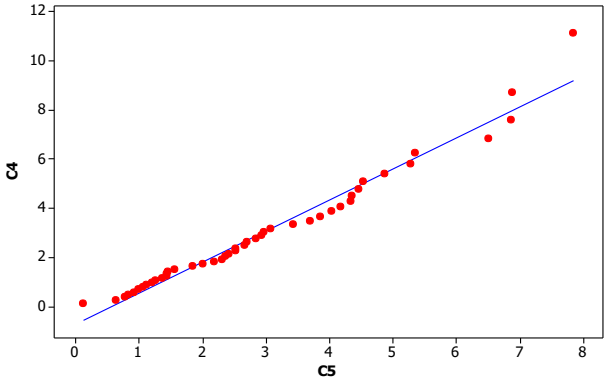
H_1 : R≠1 (berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur saling dependen)

Uji dependensi antar variabel menggunakan taraf signifikan sebesar 5%, dengan menggunakan statistik uji pada Persamaan (2.11), *syntak* pemeriksaan distribusi normal pada Lampiran 5 dan data pada Lampiran 1 diperoleh *output* yang ditunjukkan pada Lampiran 3. Keputusan yang diperoleh adalah H_0 ditolak, karena nilai χ^2 sebesar 481,775 lebih besar dari nilai $\chi^2_{0,05(3)}$ sebesar 0,351 dan didukung dengan nilai P-*Value* sebesar 0,000 yang kurang dari taraf signifikan, sehingga, diperoleh kesimpulan berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur paving 4.8MK400 saling dependen.

4.1.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Variabel Berat, Tekanan hancur, dan Tegangan Hancur Paving 4.8MK400 Fase I

Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengamatan telah berdistribusi normal

multivariat yaitu dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh serta *Chi-aquare plot* yang diperoleh dari data pada Lampiran 1 dengan perhitungan sebagaimana pada Persamaan (2.14)



Gambar 4.1 *Chi-square Plot* Fase I

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa secara visual plot-plot data mengikuti garis linier, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara visual data proses produksi paving 4.8MK400 berdistribusi normal multivariat. Dilakukan pula pengujian hipotesis untuk mengetahui apakah penyebaran data berdistribusi normal multivariat.

Hipotesis :

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

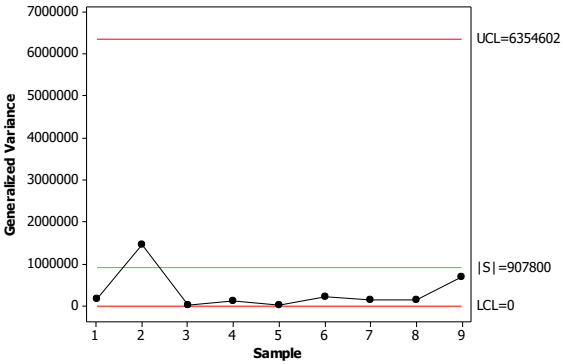
H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

H_0 ditolak jika proporsi d_{jk}^2 yang kurang dari $\chi_{2;(0,5)}^2$ kurang dari 50%. Dengan menggunakan statistik uji pada Persamaan (2.14) dan data pada Lampiran 1 diperoleh *output* yang ditunjukkan pada Lampiran 6 dan nilai d_{jk}^2 pada Lampiran 8. Keputusan yang diperoleh adalah H_0 gagal ditolak, karena proporsi d_{jk}^2 yang kurang dari $\chi_{3;(0,5)}^2$ sebesar 0,422 atau mendekati 50%, sehingga, dapat disimpulkan bahwa penyebaran

data proses produksi paving 4.8MK400 berdistribusi normal multivariat.

4.1.3 Peta Kendali *Generalized Variance* Produksi Paving 4.8MK400

Peta kendali *Generalized Variance* digunakan utuk mengendalikan variabiltitas proses untuk data multivariat. Apabila variabilitasnya telah terkendali, maka dapat dilanjutkan pada peta kendali untuk *mean proses.* Pengendalian proses pada variabilitas ini menggunakan data pada Lampiran 1 dengan menghitung batas kendali sesuai pada Persamaan (2.5) dan perhitungan pada Persamaan (2.1) maka deperoleh hasil data yang di plot pada Lampiran 10. Gambar 4.2 menunjukan hasil dari pengendalian variabilitas proses produksi paving 4.8MK400



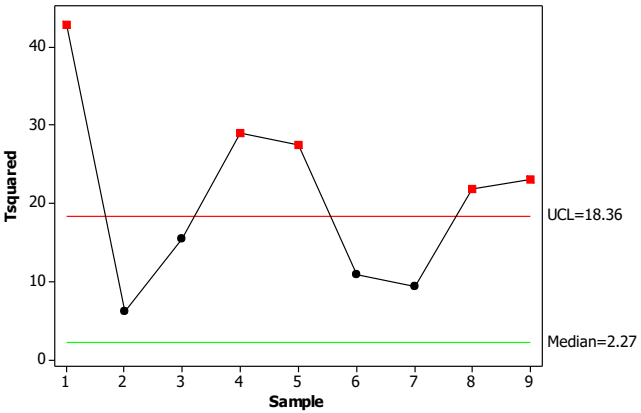
Gambar 4.2 Peta Kendali *Generalized Variance* Fase I

Gambar 4.2 menunjukan bahwa variabilitas pada proses produksi paving 4.8MK400 tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali, dimana batas kendali atas sebesar 6354602 dan batas kendali bawah sebesar 0. Hal ini menunjukan bahwa variabilitas dari proses produksi paving 4.8MK400 telah terkendali secara statistik dan dapat dilanjutkan pada analisis

selanjutnya yaitu untuk *mean proses* dengan peta kendali T^2 *Hotteling*.

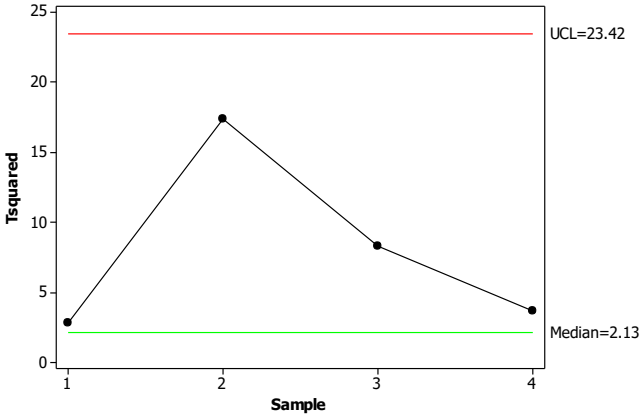
4.1.4 Peta Kendali T^2 *Hotteling* Produksi Paving 4.8MK400

Setelah melakukan pengendalian pada variabilitas proses produksi paving 4.8MK400 dengan peta kendali *Generalized Variance,* maka dilanjutkan pada pengendalian *mean proses* dengan menggunakan peta kendali T^2 *Hotteling*. Berikut merupakan hasil analisis pengendalian *mean proses* pada proses poduksi paving 4.8MK400.



Gambar 4.3 Peta Kendali T^2 *Hotelling* Fase I

Gambar 4.3 merupakan hasil analisis untuk pengendalian *mean proses.* Nilai pada peta kendali didapatkan dari data pada Lampiran 1 dengan cara menghitung sesuai pada Persamaan (2.8) didapatkan hasil pada Lampiran 12. Gambar tersebut menunjukan bahwa *mean proses* pada produksi paving 4.8MK400 terdapat pengamatan yang berda diluar batas kendali, dimana batas kendali atas sebesar 18,36 serta batas kendali bawah sebesar 0. Kesimpulan yang diperoleh adalah *mean proses* pada produksi paving 4.8MK400 belum terkendali secara statistik karena terjadi masalah pada mesin sehingga dilakukan analisis kembali dengan menghilangkan pengamatan yang berada diluar batas kendali sebagaimana hasil yang ditunjukan pada Gambar 4.4.

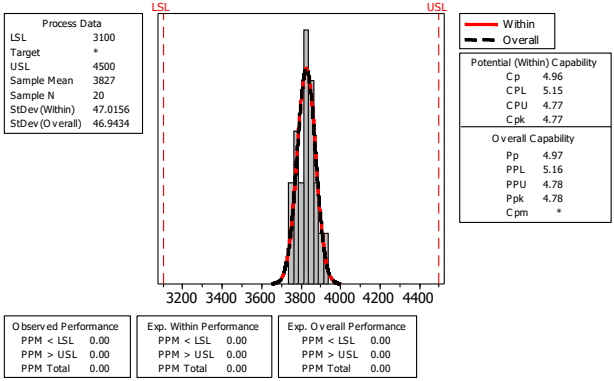


Gambar 4.4 Peta Kendali T^2 *Hotelling* perbaikan ke-1

Gambar 4.4 merupakan peta kendali T^2 *Hotteling* yang telah di analisis kembali setelah menghilangkan pengamatan yang berada diluar batas kendali dan didapatkan batas kendali baru dengan cara mengitung sebagaimana Persamaan (2.9) dan diperoleh hasil pada Lampiran 13. Pada gambar 4.5 ditunjukkan bahwa tidak terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali, dimana batas kendali atas atas sebesar 23,42 dan batas kendali bawah sebesar 0 sehingga dapat disimpulkan bahwa *mean proses* pada proses produksi paving 4.8MK400 telah terkendali secara statistik sehingga dapat dilanjutkan pada analisis berikutnya.

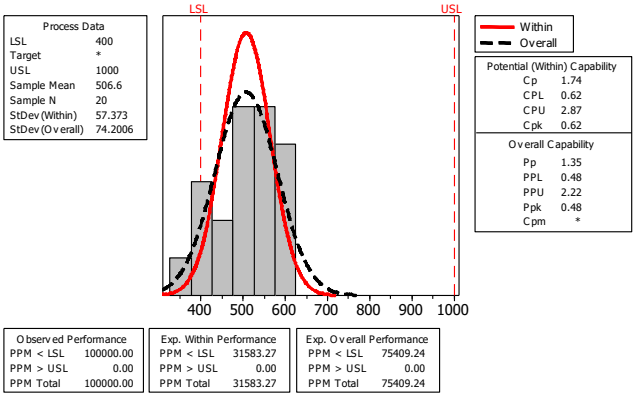
4.2 Indeks Kapabilitas Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I

Setelah melakukan analisis terhadap pengendalian variabilitas serta *mean proses* pada proses produksi Paving 4.8MK400 dan didapatkan hasil yang telah terkendali, selanjutnya dilakukan analisis kapabilitas proses. Berikut Berikut merupakan hasil analisis kapabilitas proses poduksi paving 4.8MK400 fase I



Gambar 4.5 Kapabilitas Prose Berat Fase I

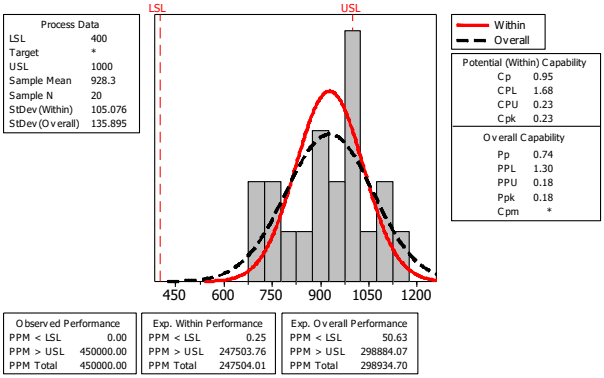
Gambar 4.5 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas berat pada fase I yang memiliki Cpu sebesar 4,77. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas berat pada fase I memiliki kemampuan proses yang kapabel.



Gambar 4.6 Kapabilitas Prose Tekanan Hancur Fase I

Gambar 4.6 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas tekanan hancur pada fase I

yang memiliki Cpu sebesar 2,87. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas tekanan hancur pada fase I memiliki kemampuan proses yang kapabel.



Gambar 4.7 Kapabilitas Prose Tegangan Hancur

Gambar 4.7 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas tegangan hancur pada fase I yang memiliki Cpu sebesar 0,23. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas tegangan hancur pada fase I memiliki kemampuan proses yang tidak kapabel.

Pada fase I dapat disimpulkan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 secara univariat untuk variabel kualitas berat dan tekanan hancur kapabel, sedangkan variabel kualitas tegangan hancur tidak kapabel. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan indeks kapabilitas secara mutivariat pada fase I. Berdasarkan Persamaan 2.24 dan bobot tiap variable sama maka bobot tiap variable sebesar 0,33 sehingga diperoleh hasil seperti Lampiran 17 $MCpu = (0{,}33 \times 4{,}77) + (0{,}33 \times 0{,}23) + (0{,}33 \times 2{,}87) = 2{,}5971$

yang didapatkan bahwa nilai MCpu sebesar 2,5971 yang berarti secara multivariat kemampuan proses produksi paving4.8MK400 pada fase I memiliki kemampuan proses yang sangat baik.

4.3 Pemeriksaan Homogenitas Matriks Varians Kovarians

Pemeriksaan homogenitas matriks varians kovarians pada bulan Desember 2017 dan Januari 2018 untuk mengetahui apakah ada perbedaan proses produksi paving 4.8MK400 antara bulan Desember 2017 dan bulan Januari 2018. Hipotesis dan hasil pengujian mengggunakan uji *Box's M* adalah sebagai berikut.

H_0 : $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \ldots = \Sigma_k$ (matrix varians covarians homogen)

H_1 : $\Sigma_i \neq \Sigma_j$ untuk $i \neq j$ (minimal adal satu matrix varian covarian yang tidak homogen)

Dengan menggunakan Persamaan 2.20 maka diperoleh *output shoftware* pada Lampiran 15, dimana nilai *Box's M* sebesar 26,636 dengan P-value sebesar 0,000 jika digunakan taraf signifilan α = 0,05, nilai $F_{(0.05;6;16115.069)}$ sebesar 2,099 maka nilai F hitung 4,199 lebih kecil dibandingkan dengan nilai $F_{(0.05;6;16115.069)}$ dan p-value lebih kecil dari α = 0,05 sehingga diperoleh keputusan H_0 ditolak yang artinya minimal ada satu matriks varians kovarian fase I dan fase II yang tidak homogen. Asumsi matriks varians kovarians belum terpenuhi, maka untuk mengetahui perbedaan fase I dan fase II digunakan uji *Behrens-Fisher*.

Uji *Behrens-Fisher* ini digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antar fase I dan fase II dalam proses produksi paving 4.8MK400 dimana asumsi homogenitas matriks varians kovarians tidak terpenuhi. Hasil analisis ditunjukkan sebagai berikut.

H_0 : $\mu_1 - \mu_2 = 0$ (Tidak terdapat perbedaan antara rata-rata fase I dan rata-rata fase II)

H_1 : $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ (ada perbedaan antara rata-rata fase I dan rata-rata fase II)

Pengujian perbedaan Fase I dan Fase II dengan Uji *Behrens-Fisher* ini menggunakan taraf signfikan sebesar 5% diperoleh *output* pada Lampiran 16. Nilai T^2 yang diperoleh sebesar 31,395 lebih besar dari $\chi^2_{0,05;3}$ yaitu sebesar 0,351 sehingga diperoleh keputusan tolak H_0 yang berarti terdapat perbedaan fase I dan fase II pada proses produksi paving. Sehingga peta kendali pada fase II dibuat berdasarkan data pada fase II.

4.4 Pengujian dan Pemeriksaan Asumsi Peta Kendali Multivariat Paving 4.8MK400 Fase II

Sebelum dilakukan pengendalian kualitas dengan peta kendali terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi terlebih dahulu, antara lain dependensi antar variabel dan berdistribusi normal multivariat. Berikut merupakan hasilnya.

4.4.1 Dependensi Variabel Berat, Tekanan hancur, dan Tegangan Hancur Paving 4.8MK400 Fase II

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hubungan antara variabel berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur. Berikut merupakan hipotesis dan hasil dari pengujian.

H_0 : R=1 (berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur saling independen)

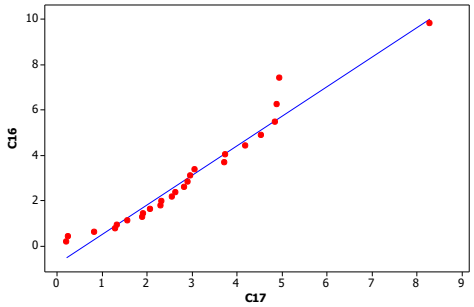
H_1 : R≠1 (berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur saling dependen)

Uji dependensi antar variabel menggunakan taraf signifikan sebesar 5%, dengan menggunakan statistik uji pada Persamaan (2.11) dan data pada Lampiran 2 diperoleh *output* yang ditunjukkan pada Lampiran 7. Keputusan yang diperoleh adalah H_0 ditolak, karena nilai χ^2 sebesar 206,176 lebih besar dari nilai $\chi^2_{0,05(3)}$ sebesar 7,814 dan didukung dengan nilai P-*Value* sebesar 0,000 yang kurang dari taraf signifikan, sehingga, diperoleh

kesimpulan berat, tegangan hancur, dan tekanan hancur paving 4.8M 400 saling dependen.

4.4.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Produksi Paving 4.8MK400 Fase II

Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengamatan telah berdistribusi normal multivariat yaitu dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh dari *syntak* pemeriksaan distribusi normal pada Lampiran 5 serta *Chi-aquare plot* yang diperoleh dari data pada Lampiran 1 dengan perhitungan sebagaimana pada Persamaan (2.4)



Gambar 4.8 *Chi-square Plot* Fase I

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa secara visual plot-plot data mengikuti garis linier, sehingga dapat disimpulkan bahwa secara visual data proses produksi paving 4.8MK400 berdistribusi normal multivariat. Dilakukan pula pengujian hipotesis untuk mengetahui apakah penyebaran data berdistribusi normal multivariat.

Hipotesis :

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat

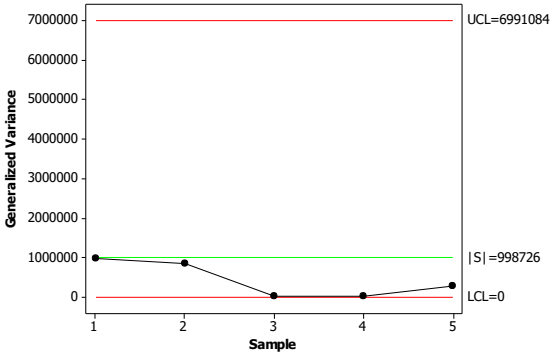
H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat

H_0 ditolak jika proporsi d_{jk}^2 yang kurang dari $\chi_{2;(0,5)}^2$ kurang dari 50%. Dengan menggunakan statistik uji pada Persamaan (2.14) dan data pada Lampiran 2 diperoleh *output* yang ditunjukkan

pada Lampiran 7 dan nilai d_{jk}^2 pada Lampiran 9. Keputusan yang diperoleh adalah H_0 gagal ditolak, karena proporsi d_{jk}^2 yang kurang dari $\chi_{2;(0,5)}^2$ sebesar 0,4400 atau mendekati 50%, sehingga, dapat disimpulkan bahwa penyebaran data proses produksi paving 4.8MK400 berdistribusi normal multivariat.

4.4.3 Peta Kendali *Generalized Variance* Fase II

Peta kendali *Generalized Variance* digunakan utuk mengendalikan variabiltitas proses untuk data multivariat. Pengendalian variabilitas pada fase II menggunakan data pada Lampiran 2 dan diperoleh hasil pada Lampiran 11. Batas kendali yang digunakan pada peta kendali *Generalized Variance* fase II merupakan batas kendali pada peta kendali *Gneralized Variance* pada fase II yang telah terkendali. Gambar 4.7 menunjukan bahwa variabilitas pada proses produksi paving 4.8MK400 di bulan Januari tidak terdapat pengamatan yang keluar dari batas kendali. Hal ini menunjukan bahwa ada pergeseran proses antara bulan Desember dan Januari, serta variabilitas proses pada bulan Januari telah terkendali secara statistik.

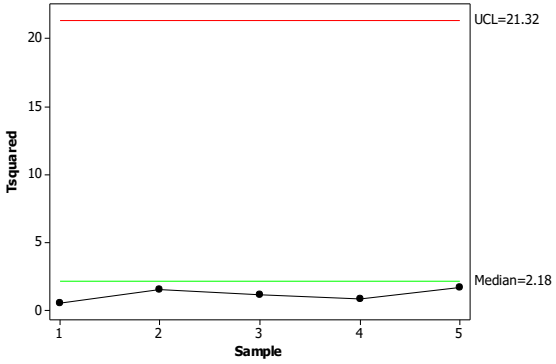


Gambar 4.9 Peta Kendali *Generalized Variance* Fase II

4.4.4 Peta Kendali T^2 *Hotteling* Fase II

Setelah melakukan pengendalian pada variabilitas proses produksi paving 4.8MK400 dengan peta kendali *Generalized Variance*, maka dilanjutkan pada pengendalian *mean proses* menggunakan peta kendali T^2 *Hotteling* dengan batas kendali dari peta kendali T^2 *Hotteling* pada fase II yang telah terkendali. Berikut merupakan hasil analisis pengendalian *mean proses* pada proses poduksi paving 4.8MK400 menggunakan data pada Lampiran 5 dan menghitung nilai T^2 sesuai dengan Persamaan (2.8) dan diperoleh hasil pada Lampiran 14.

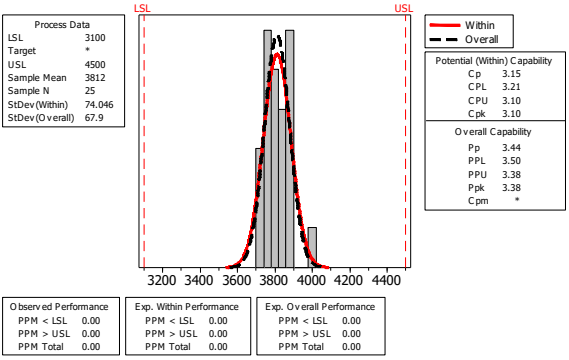
Gambar 4.8 merupakan hasil analisis untuk pengendalian *mean proses*. Gambar tersebut menunjukan bahwa tidak terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali, dimana batas kendali atas sebesar 21,32 serta batas kendali bawah sebesar 0. Kesimpulan yang diperoleh adalah *mean proses* pada produksi paving 4.8MK400 telah terkendali secara statistik.



Gambar 4.10 Peta Kendali T^2 *Hotelling* Fase II

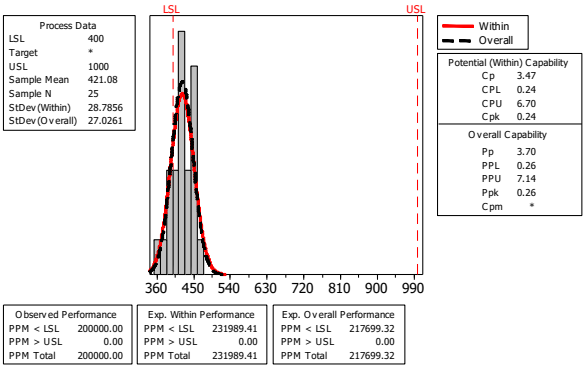
4.5 Indeks Kapabilitas Proses Produksi Paving 4.8MK400

Setelah melakukan analisis terhadap pengendalian variabilitas serta *mean proses* pada proses produksi Paving 4.8MK400 dan didapatkan hasil yang telah terkendali, selanjutnya dilakukan analisis kapabilitas proses. Berikut Berikut merupakan hasil analisis kapabilitas proses poduksi paving 4.8MK400 fase II



Gambar 4.11 Kapabilitas Prose Berat Fase II

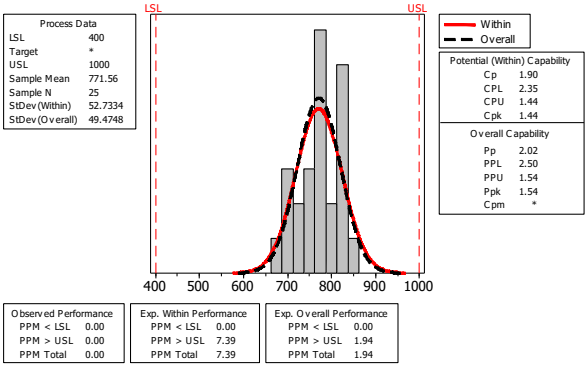
Gambar 4.11 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas berat pada fase II yang memiliki Cpu sebesar 3,10. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas berat pada fase II memiliki kemampuan proses yang kapabel.



Gambar 4.12 Kapabilitas Prose Tekanan Hancur Fase II

Gambar 4.12 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas tekanan hancur pada fase II

yang memiliki Cpu sebesar 6,70. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas berat pada fase II memiliki kemampuan proses yang kapabel.



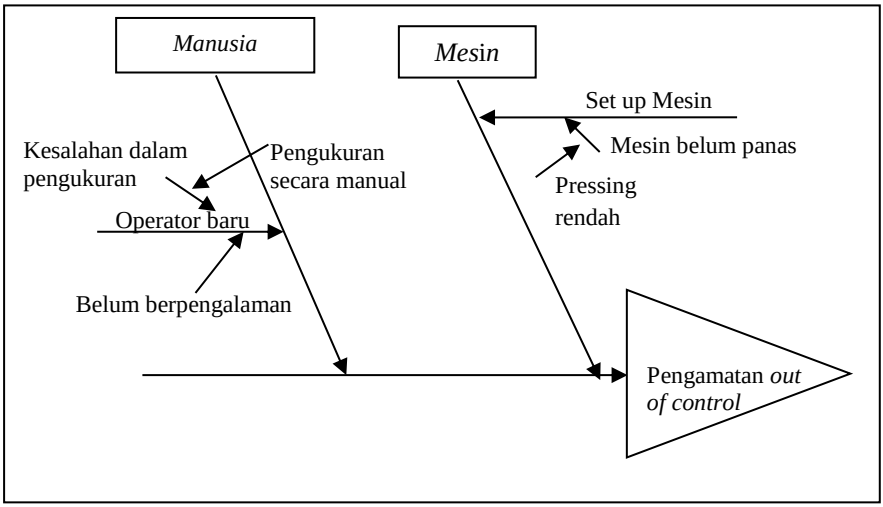
Gambar 4.13 Kapabilitas Prose Tegangan Hancur Fase II

Gambar 4.13 merupakan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses variabel kualitas berat pada fase II yang memiliki Cpu sebesar 1,44. Hal tersebut menunjukan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 untuk variabel kualitas berat pada fase II memiliki kemampuan proses yang kapabel.

Pada fase II dapat disimpulkan bahwa proses produksi paving 4.8MK400 secara univariat untuk variabel kualitas berat, tekanan hancur, dan tegangan hancur kapabel. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan indeks kapabilitas secara mutivariat pada fase II. Berdasarkan Persamaan 2.24 dan bobot tiap variable sama maka bobot tiap variable sebesar 0,33 sehingga diperoleh hasil seperti Lampiran 18. $MCpu = (0{,}33 \times 3{,}10) + (0{,}33 \times 6{,}70) + (0{,}33 \times 1{,}44) = 3{,}709$ yang didapatkan bahwa nilai MCpu sebesar 3,709 yang berarti secara multivariat kemampuan proses produksi paving 4.8MK400 pada fase II memiliki kemampuan proses yang sangat baik.

4.6 Faktor Yang Menyebabkan *Out Of Control* Proses Produksi Paving 4.8MK400

Diagram *Ishikawa* atau diagram tulang ikan digunakan untuk mencari faktor-faktor produk tidak sesuai dengan batas spesifikasi serta proses produksi yang tidak terkendali. Diagram *ishikawa* menunjukan pada proses produksi penyebab terjadinya suatu masalah pada umumnya disebabkan oleh 4M+1E yaitu *machine* (mesin), *method* (metode), *material* (bahan), *man* (manusia) dan *environment* (lingkungan). Diduga pada PT. Merak Jaya Pracetak penyebab ketidak sesuaian proses produksi berasal dari manusia dan mesin saja, sedangkan untuk material yang digunakan tidak terdapat masalah atau kesalahan pencampuran bahan baku yang digunakn begitu juga dengan metode yang digunakan dan lingkungan pada musim penghujan pada saat itu tidak menjadi penyebab terganggunya pengeringan paving dikarenakan semakin banyak paving terkena air pada saat pengeringan maka semakin baik proses penguapan paving. Berikut merupakan hasil dari faktor – faktor yang menyebabkan tidak terkendalinya proses produksi.



Gambar 4.14 Diagram *Ishikawa*

Gambar 4.14 menunjukan faktor-faktor penyebab pengamatan pada proses produksi keluar dari batas kendali yang disebabkan oleh faktor manusia dan mesin. Faktor – faktor penyebab diketahui berdasarkan *checksheet*, yaitu utamanya faktor mesin. Mesin setelah mengalami *set up* akan terjadi kesenggangan pada mesin atau mesin belum panas sehingga akan menyebabkan kekuatan *pressing* paving bermasalah dan akan berakibat pada paving dang dihasilkan kurang mampat. Faktor – faktor lain yang menyebabkan pengamatan berada diluar batas kendali juga diketahui dari observasi langsung dengan operator. Operator yang sedang bertugas juga dapat melakukan kesalahan karena kurang teliti, disebabkan karena operator baru yang kurang berpengalaman maka bias terjadi kesalahan dalam pengukuran karena pengukuran masih dilakukan secara manual.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan analisis yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Proses produksi paving 4.8MK400 telah kapabel karena proses telah terkendali baik pada fase I dan fase II dan indeks kapabilitas lebih dari 1. Dalam hal ini indeks kapabilatas di fase I mencapai 2,361 dan di fase II mencapai 3,372.
2. Walaupun proses sudah kapabel masih dimungkinkan proses tidak terkendali oleh karena itu perlu dicari penyebab pengamatan *out of control* dalam hal ini penyebab yang utama adalah faktor mesin karean *set up* mesin dan faktor manusia karena pengukuran masih dilakukan secara manual sehingga dimungkinkan terjadi kesalahan dalam pencatatan.

5.2 Saran

PT. Merak Jaya Pracetak perlu melakukan pengawasan terhadap proses produksi Paving 4.8MK400 karena masih terdapat ketidaksesuaian, meskipun proses produksi kapabel. Untuk memperbaiki ketidaksesuaian tersebut, perusahaan disarankan memberikan pelatihan untuk menambah *skill* operator, mengganti alat ukur manual dengan alat ukur digital, dan melakukan pemantauan secara ketat terhadap mesin produksi terutama setiap kali *set up* dang anti mesin, agar mesin jalan terus dan tidak perlu waktu lama untuk panas yang akan menyebabkan ketidaksesuaian pada produk paving 4.8MK400.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

DAFTAR PUSTAKA

Heizer J. dan Render B, 2009. *Manajemen Operasi*. Buku 1 Edisi 9. Jakarta: Salemba Empat.

Johnson & Wichern. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.

Montgomery, D.C. 2013. *Introduction To Statistical Quality Control*. Edisi ke-7. Arizona State University: Wiley.

Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices On The Presence Of Priority For Quality Characteristics. *Journal Of Industrial Engineering International*, 27-36.

(*Halaman ini sengaja dikosongkan)*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I Bulan Desember 2017

Bulan	Sampel	Berat (gr)	Tegangan Hancur kg/cm^2	Tekanan Hancur kg/cm^2
20 des 2017	1	3830	1041	568
	2	3745	1026	560
	3	3725	985	538
	4	3750	1156	631
	5	3775	1108	605
21 des 2017	1	3875	1011	552
	2	3825	750	409
	3	3920	1136	620
	4	3775	937	511
	5	3830	1101	601
22 des 2017	1	3855	779	425
	2	3800	766	418
	3	3900	898	490
	4	3850	700	382
	5	3830	678	370
25 des 2017	1	3935	847	462
	2	3980	910	496
	3	3910	874	477
	4	3855	909	496
	5	3915	844	460
26 des 2017	1	3965	1081	590
	2	3915	942	514
	3	3900	924	504
	4	3975	898	490
	5	3955	876	478

Lampiran 1. Data Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase I Bulan Desember 2017 (Lanjutan)

Bulan	Sampel	Berat (gr)	Tegangan Hancur kg/cm^2	Tekanan Hancur kg/cm^2
27 des 2017	1	3840	1013	553
	2	3805	1007	550
	3	3775	1079	589
	4	3875	901	492
	5	3775	911	497
28 des 2017	1	3835	1021	557
	2	3750	959	523
	3	3750	1058	577
	4	3850	1006	549
	5	3825	855	467
29 des 2017	1	3810	748	408
	2	3810	760	415
	3	3780	687	375
	4	3785	775	423
	5	3655	759	414
30 des 2017	1	3785	699	381
	2	3870	830	453
	3	3745	747	408
	4	3695	629	343
	5	3835	736	402

Lampiran 2. Data Proses Produksi Paving 4.8MK400 Fase II
Bulan Januari 2018

Bulan	Sampel	Berar (gr)	Tegangan Hancur (KN)	Tekanan Hancur (kg/cm2)
2-Jan-18	1	3885	819	447
	2	3980	828	452
	3	3715	696	380
	4	3715	780	426
	5	3860	765	417
3-Jan-18	1	3850	761	415
	2	3885	789	431
	3	3745	859	469
	4	3775	734	401
	5	3845	825	450
4-Jan-18	1	3745	702	383
	2	3895	750	409
	3	3785	835	456
	4	3730	764	417
	5	3890	719	392
5-Jan-18	1	3880	773	422
	2	3790	786	429
	3	3745	767	419
	4	3760	766	418
	5	3810	753	411
6-Jan-18	1	3835	829	452
	2	3780	665	363
	3	3775	791	432
	4	3845	706	385
	5	3780	827	451

Lampiran 3. *Output* Dependensi Fase I

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.493
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	481.775
	df	3
	Sig.	.000

Lampiran 4. *Output* Dependensi Fase II

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.453
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	206.176
	df	3
	Sig.	.000

Lampiran 5. *Syntax* Pemeriksan Distribusi Normal Multivariat Fase I

```
Macro
NormalMultivariate X.1-X.p qc dj2
MConstant i j n p Prop Tengah
MColumn x.1-x.p xj Kali d dj2 qc Prob
MMatrix MCova MCovaI xjxbar
#-- 1.1. Dapatkan Nilai dj2 --#
  let n=count(x.1)
  Covariance X.1-X.p MCova
  invers MCova MCovaI
  do i=1:n
    do j=1:p
      let xj(j)=x.j(i)-mean(x.j)
    enddo
    copy xj xjxbar
    mult MCovaI xjxbar Kali
    let d=Kali*xj
    let dj2(i)=sum(d)
  enddo
  sort dj2 dj2
#-- 1.2. Dapatkan Nilai qc --#
  do i=1:n
    let Prob(i)=1-(n-i+0.5)/n
  enddo
  INVCDF Prob qc;
    Chisquare p.
#-- 1.3 Buat Plot dj2 dengan qc --#
  plot qc*dj2;
    symbol.
```

Lampiran 5. *Syntax* Pemeriksan Distribusi Normal Multivariat Fase I (Lanjutan)

```
#-- 2. Mencari Proporsi --#
  INVCDF 0.5 Tengah;
    Chisquare p.
  let Prop=0
  do i=1:n
    if dj2(i)<=Tengah
      let Prop=Prop+1
    endif
  enddo
  let Prop=Prop/n
  print Prop
#-- 3. Mencari Nilai Korelasi --#
  corr qc dj2
name qc 'qc'
name dj2 'dj2'
endmacro
```

Lampiran 6. *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase I

Data Display

```
Prop    0.422222
```

Correlations: C4, C5

```
Pearson correlation of C4 and C5 = 0.985
P-Value = 0.000
```

Lampiran 7. *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase II

Data Display

```
Prop    0.440000
```

Correlations: C16, C17

```
Pearson correlation of C16 and C17 = 0.977
P-Value = 0.000
```

Lampiran 8. Nilai $\mathbf{d_i^2}$ setiap observasi fase I

Sampel	dj2	qc
1	0.116342	0.1233974
2	0.6376856	0.2639101
3	0.7826909	0.3794977
4	0.8287351	0.48478
5	0.9138665	0.5843744
6	0.9877358	0.6805124
7	1.0608652	0.7745021
8	1.1151612	0.8672074
9	1.1990657	0.959249
10	1.2550273	1.0511041
11	1.367913	1.1431598
12	1.429788	1.2357455
13	1.4390947	1.3291534
14	1.4479084	1.4236522
15	1.5497331	1.5194971
16	1.837606	1.6169372
17	2.0024011	1.7162219
18	2.1837721	1.8176064
19	2.3113578	1.9213561
20	2.3661032	2.0277522
21	2.4093913	2.1370964
22	2.5182488	2.2497167
23	2.5285924	2.3659739
24	2.6627258	2.4862685
25	2.695429	2.6110504
26	2.8458587	2.7408292
27	2.9331698	2.8761879

Lampiran 8. Nilai $\mathbf{d}_i^2$ setiap observasi fase I (Lanjutan)

28	2.9682144	3.0178001
29	3.0682256	3.166452
30	3.4364206	3.3230712
31	3.7035774	3.4887647
32	3.8580689	3.6648708
33	4.038218	3.8530303
34	4.1685991	4.0552882
35	4.3415104	4.2742403
36	4.3576685	4.5132539
37	4.4566124	4.776811
38	4.5352322	5.0710664
39	4.877964	5.404806
40	5.2871593	5.7912087
41	5.3603085	6.2513886
42	6.5119829	6.8224403
43	6.8746409	7.5792988
44	6.8834427	8.714793
45	7.8458859	11.116734

Lampiran 9. Nilai $\mathbf{d_i^2}$ setiap observasi fase II

Sampel	dj2	qc_1
1	0.1995013	0.1848318
2	0.2365587	0.4011734
3	0.8172543	0.5843744
4	1.285137	0.7558302
5	1.331394	0.922479
6	1.5621947	1.0878828
7	1.8947529	1.2543524
8	1.907269	1.4236522
9	2.074843	1.5973096
10	2.3057652	1.7767839
11	2.3188398	1.9635806
12	2.5567468	2.1593473
13	2.6253867	2.3659739
14	2.8274246	2.5857116
15	2.9003863	2.8213339
16	2.9585562	3.0763677
17	3.0610037	3.3554449
18	3.7216613	3.6648708
19	3.7345847	4.0135936
20	4.1890825	4.4149844
21	4.5352807	4.8904101
22	4.8494676	5.4773439
23	4.8790922	6.2513886
24	4.9501658	7.40688
25	8.2776512	9.8374093

Lampiran 10. Nilai $|S|$ Fase I

Sampel	$\|S\|$
1	173572.8
2	1465864
3	9067.5
4	107574.2
5	18062.5
6	219863.1
7	150878.1
8	135297.5
9	685411.4

Lampiran 11. Nilai $|S|$ Fase II

Sampel	$\|S\|$
1	974745
2	837295.16
3	29393.75
4	11601.562
5	265681.25

Lampiran 12. Nilai T^2 *Hotteling* Fase I

Sampel	T^2 *Hotteling*
1	42.83625301
2	6.208028156
3	15.50708911
4	29.02101251
5	27.41158061
6	10.87845085
7	9.445946808
8	21.84578485
9	23.02766247

Lampiran 13. Nilai T^2 *Hotteling* Fase I perbaikan ke-1

Sampel	T^2 *Hotteling*
1	2.819891099
2	17.41728166
3	8.320592877
4	3.67257334

Lampiran 14. Nilai T^2 *Hotteling* Fase II

Sampel	T^2 *Hotteling*
1	0.557437605
2	1.525446756
3	1.177738378
4	0.824063757
5	1.685345197

Lampiran 15. Pemeriksan Homogenitas

Box's Test of Equality of Covariance Matrices[a]

Box's M	26.636
F	4.199
df1	6
df2	16115.069
Sig.	.000

Lampiran 16. *Output* Uji *Bahren's Fisher* Perbandingan Fase

```
MTB > COPY C1-C3 M1
MTB > INVERT M1 M2
MTB > PRINT M2

Data Display

 Matrix M2
 0.003629    -0.155     0.283
-0.154744    69.676  -127.545
 0.282627  -127.545   233.484
MTB > COPY M2 C5-C7
MTB > COPY C9 M3
MTB > COPY C11-C13 M4
MTB > MULT M4 M2 M5
MTB > MULT M5 M3 M6
Answer = 31.3959
```

Lampiran 17. Perhitungan Indeks Kapabilitas Proses Multivariat Fase I

$$MCpu = (0{,}33 \times 4{,}77) + (0{,}33 \times 0{,}23) + (0{,}33 \times 2{,}87) = 2{,}5971$$

Lampiran 18. Perhitungan Indeks Kapabilitas Proses Multivariat Fase II

$$MCpu = (0{,}33 \times 3{,}10) + (0{,}33 \times 6{,}70) + (0{,}33 \times 1{,}44) = 3{,}709$$

Lampiran 19. Surat Pengambilan Data

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN STATISTIKA BISNIS
Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111
Telp. : 031-594 3352, 031-599 4251 Fax. : 031-592 2940 PABX: 1213, 1214
http://www.b-stat.its.ac.id

Nomor : 049642/IT2.VI.8.6 /TU.00.09/2018
Perihal : Permohonan ijin memperoleh data untuk Tugas Akhir

Kepada Yth : Bapak Samsul Munir (Manajer)
PT. MERAK JAYA PRACETAK
Sekarmojo, Purwosari, Pasuruan, Jawa Timur

Dengan Hormat,

Dalam rangka menyelesaikan studi di Departemen Statistika Bisnis - ITS, mahasiswa diwajibkan untuk melakukan Tugas Akhir. Sehubungan dengan hal tersebut, kami mohon agar mahasiswa berikut :

Nama	: NI`MATUL BARIROH
NRP	: 10611500000043
Program Studi	: Diploma III (D III)
Judul Tugas Akhir	: Analisis Kapabilitas Proses Produksi Paving 4.8 MK 400 di PT. MERAK JAYA PRACETAK

diperkenankan memperoleh data dan penelitian untuk keperluan Tugas Akhir yang pelaksanaan dari kegiatan pengambilan data tersebut diperkirakan pada Desember 2017 s.d Januari 2018.

Demikian surat ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terima kasih.

Surabaya, 25 Juli 2018
a.n. Kepala,
Sekretaris Departemen,

Dr. Brodjol Sutijo Suprih U., M.Si
NIP. 19660125 199002 1 001

Lampiran 20. Surat Pernyataan Keaslian Data

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS :

Nama : Ni'matul Bariroh
NRP : 10611500000043

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang diambil dari :

Sumber : PT. Merak Jaya Pracetak Pasuruan Jawa Timur
Keterangan : Data Hasil Proses Produksi Paving Type 4.8MK400

Surat Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Mengetahui,
Pejabat Pemberi Data,

PT. MERAK JAYA PRACETAL
(Samsul Munir)
NIP. Manager Area.

Surabaya,
Yang membuat Pernyataan

(Ni'matul Bariroh)
NRP. 10611500000043

Mengetahui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

(Dra. Lucia Aridinanti, M.T)
NIP. 19610131 1987012 001

BIODATA PENULIS

Penulis bernama Ni'matul Bariroh atau lebih akrab dipanggil Barir. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang lahir di kota Bojonegoro pada tanggal 31 Mei 1997. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Tarbiyatussibyan Kauman, MI Tarbiyatussibyan Kauman, MTsN Babat, MA Amanatul-ummah Mojokerto. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi yaitu di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan mengambil Jurusan Statistika Bisnis pada tahun 2015. Selama di perguruan tinggi, penulis aktif mengikuti pelatihan, kepanitiaan, dan organisasi. Organisasi yang penulis ikuti yaitu Badan Eksekutif Mahasiswa ITS sebagai staff magang Kementrian Pemuda dan Kebangsaan periode 2016/2017 dan sebagai sekertaris Departemen Penelitian dan pengembangan HIMADATA-ITS periode 2017/2018. Tahun pertama, penulis lebih aktif mengikuti pelatihan, sedangkan tahun kedua lebih aktif mengikuti kepanitiaan. Penulis memiliki motto dalam hidup yaitu "*Mustahil Berlabuh Jika Dayung Tak Terkayuh*".

Informasi dan komunikasi lebih lanjut dengan penulis dapat menghubungi :

Email : nmbariroh45@gmail.com
Idline, Instagram : barir97,barir31
Telepon (WA) : +62895632263136