



TUGAS AKHIR - VS180603

**METODE SIX SIGMA UNTUK MENGURANGI
DEFECT KERTAS TEST LINER 150 GSM
DI PT. MEKABOX INTERNATIONAL
MOJOKERTO**

Puteri Ardhya Pramesti
NRP 1061160000020

Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - VS180603

**METODE SIX SIGMA UNTUK MENGURANGI
DEFECT KERTAS TEST LINER 150 GSM
DI PT. MEKABOX INTERNATIONAL
MOJOKERTO**

Puteri Ardhya Pramesti
NRP 1061160000020

Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

Program Studi Diploma III
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - VS180603

**SIX SIGMA METHOD TO REDUCE 150 GSM
TEST LINER PAPER DEFECTS
IN PT. MEKABOX INTERNATIONAL
MOJOKERTO**

Puteri Ardhya Pramesti
NRP 1061160000020

Supervisor
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

Study Program of Diploma III
Departement of Business Statistics
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN
METODE SIX SIGMA UNTUK MENGURANGI DEFECT
KERTAS TEST LINER 150 GSM
DI PT. MEKABOX INTERNATIONAL MOJOKERTO

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

OLEH:
PUTERI ARDHYA PRAMESTI
NRP 1061160000020

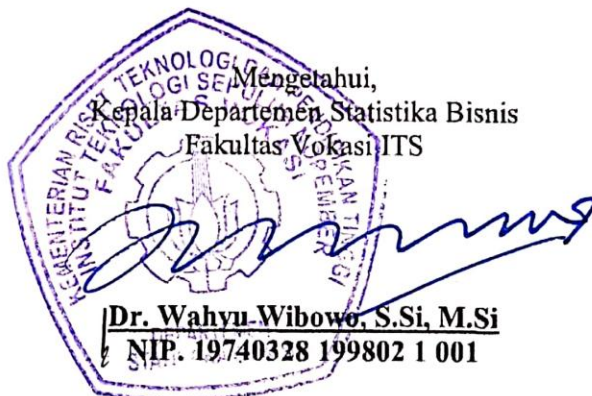
SURABAYA, 28 MEI 2019

Menyetujui,
Pembimbing Tugas Akhir



Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT
NIP. 19610311 198701 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi ITS



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

METODE *SIX SIGMA* UNTUK MENGURANGI *DEFECT* KERTAS *TEST LINER* 150 GSM DI PT. MEKABOX INTERNATIONAL MOJOKERTO

Nama : Puteri Ardhya Pramesti
NRP : 1061160000020
Program Studi : Diploma III
Departemen : Statistika Bisnis Fakultas Vokasi
Pembimbing : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

Abstrak

Kardus digunakan oleh berbagai industri sebagai media kemasan produk sehingga kualitas kardus yang baik sangat diperlukan. PT. Mekabox International merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi kertas karton sebagai bahan pembuatan kardus berdasarkan permintaan pelanggan. Kertas yang menjadi produk unggulan perusahaan adalah kertas *Test Liner*, terutama pada gramatur 150 GSM. Kertas *Test Liner* 150 GSM terjadi penurunan kualitas yang dimulai pada bulan September 2018 dengan *defect rate* sebesar 2%, bulan Oktober sebesar 4%, dan bulan November sebesar 5%. Jika penurunan kualitas tersebut dibiarkan terus-menerus mengakibatkan produk menjadi turun *grade*. Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan kualitas kertas dengan menurunkan jumlah *defect* yang dihasilkan menggunakan metode *six sigma* DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapabilitas proses produksi, menentukan level sigma, mengetahui faktor penyebab tingginya produk *Reject* Masuk Gudang (RMG), dan membuat usulan perbaikan berdasarkan akar permasalahan sehingga diperoleh hasil kapabilitas proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I dan fase II tidak kapabel, dengan level sigma pada fase I sebesar $3,06\sigma$ dan mengalami penurunan level menjadi $2,77\sigma$ pada fase II. Penurunan tersebut disebabkan banyak mesin yang kotor, seperti *dryer* dan *wire top* karena belum ada jadwal *cleaning* rutin. Selain itu, mesin cepat kotor karena operator juga tidak memenuhi SOP atau kurang pelatihan sehingga disarankan untuk melakukan kalibrasi mesin dan memberikan operator pelatihan manajemen mutu.

Kata Kunci: *Defect, Six Sigma* DMAIC, *Test Liner* 150 GSM

SIX SIGMA METHOD TO REDUCE 150 GSM TEST LINER PAPER DEFECTS IN PT. MEKABOX INTERNATIONAL MOJOKERTO

Name : Puteri Ardhya Pramesti
NRP : 1061160000020
Study Programme : Diploma III
Departement : Business Statistics Faculty of Vocations
Supervisor : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT

Abstract

Cardboard is used by various industries as a media for product packaging so that good quality cardboard is needed. PT. Mekabox International is one of the companies that produce paperboard as a cardboard making material based on customer demand. Paper which is the company's flagship product is the Test Liner paper, especially in the size of 150 GSM. The 150 GSM Test Liner paper has decreased in quality starting in September 2018 with 2% of defect rate, October has 4%, and November has 5%. If the decline in quality is allowed to continue, it causes the product to be down grade. Therefore it is necessary to improve the quality of paper by reducing the number of defects produced using the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) six sigma method. This study aims to determine the capability of the production process, determine the sigma level, determine the factors that cause Reject Masuk Gudang (RMG) products high, and make improvement proposals based on the root causes so the results are the capability of the production process of the 150 GSM Test Liner paper in Phase I and Phase II is not capable, with the sigma level in phase I is 3.06σ and decreasing in level to 2.77σ in phase II. The decrease was due to many dirty machines, such as dryers and wire tops because there were no routine cleaning schedules. In addition, the engine gets dirty quickly because the operator also does not meet SOPs or lacks training so it is advisable to calibrate the machine and provide operators with quality management training.

Keywords: Defect, DMAIC Six Sigma, 150 GSM Test Liner

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis mengucapkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul

“Metode Six Sigma untuk Mengurangi Defect Kertas Test Liner 150 GSM di PT. Mekabox International Mojokerto”

Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan maksimal dan mendapatkan bantuan dari berbagai pihak sehingga dapat memperlancar pembuatan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan sepenuh hati dan penuh perhatian sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir tepat waktu.
2. Bapak Dr. Brodjol Sutijo Suprih Ulama, M.Si. selaku dosen penguji, validator, sekaligus Sekretaris Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS yang memberikan banyak masukan untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir.
3. Ibu Iis Dewi Ratih, S.Si, M.Si. selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran dalam pengerjaan laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si. selaku Kepala Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS yang selalu memberikan motivasi agar semangat mengerjakan Tugas Akhir.
5. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si selaku Kepala Program Studi Diploma III Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS yang selalu mengingatkan dan mendoakan agar Tugas Akhir ini cepat terselesaikan.
6. Ibu Ir. Mutiah Salamah Chamid, M. Kes selaku dosen wali yang selalu memberikan dorongan dan doa untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.

7. Seluruh pihak Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS meliputi dosen pengajar dan karyawan yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi selama perkuliahan ini.
8. Bapak Jarot Hendro Sucahyo selaku manager HRD-GA di PT. Mekabox International yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian Tugas Akhir.
9. Bapak Heru Hermawan selaku *General Plant Manager* PT. Mekabox International yang telah mempermudah penulis dalam pengambilan data Tugas Akhir.
10. Bapak Bambang Heru I. selaku pembimbing lapangan Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberikan masukan-masukan untuk Tugas Akhir ini.
11. Keluarga tercinta, terutama ayah dan ibu yang dengan ikhlas memberikan dukungan, semangat, doa, dan motivasi tiada henti kepada penulis.
12. Mas Michael selaku alumni yang selalu memberikan kritik, saran, masukan, dan motivasi untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
13. Teman-teman SMR *Squad* yang menemani suka duka, memberikan dukungan, semangat, saran, masukan, dan pengalaman berharga kepada penulis.
14. Teman-teman Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS angkatan tahun 2016 yang selalu mendukung dan menjadi teman diskusi dalam proses Tugas Akhir.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan pada laporan Tugas Akhir ini, oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk perbaikan. Akhir kata penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juni 2019

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	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tahap <i>Define</i>	5
2.2 Tahap <i>Measure</i>	6
2.2.1 Analisis Kapabilitas Proses.....	6
2.2.2 Level Sigma.....	13
2.3 Tahap <i>Analyze</i>	13
2.3.1 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>	14
2.3.2 Diagram <i>Ishikawa</i>	14
2.4 Tahap <i>Improve</i>	15
2.5 Tahap <i>Control</i>	15
2.5.1 Homogenitas Matriks Varians Kovarians.....	15
2.5.2 Uji Perbedaan Rata-Rata Dua Populasi.....	16
2.6 Proses Produksi Kertas <i>Test Liner 150 GSM</i>	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data.....	21
3.2 Variabel Penelitian.....	22
3.3 Langkah Analisis.....	23

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1	Tahap <i>Define</i>	29	
4.2	Tahap <i>Measure</i>	31	
4.2.1	Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kertas <i>Test Liner 150 GSM Fase I</i>	35	
4.2.2	Level Sigma Fase I.....	40	
4.3	Tahap <i>Analyze</i>	41	
4.3.1	Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control Fase I</i>	41	
4.3.2	Faktor Penyebab <i>Out of Control Fase I</i>	42	
4.4	Tahap <i>Improve</i>	44	
4.5	Tahap <i>Control</i>	44	
4.5.1	Uji Perbedaan Rata-Rata Fase I dengan Fase II.....	49	
4.5.2	Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kertas <i>Test Liner 150 GSM Fase II</i>	50	
4.5.3	Level Sigma Fase II	56	
4.5.4	Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control Fase II</i>	57	
4.5.5	Faktor Penyebab <i>Out of Control Fase II</i>	58	
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN			
5.1	Kesimpulan	61	
5.2	Saran	61	
DAFTAR PUSTAKA			63
LAMPIRAN			65
BIODATA PENULIS			105

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 6σ Motorola.....	5
Tabel 2.2 Struktur Data Peta Kendali T^2 Hotelling Individu....	10
Tabel 2.3 Struktur Data Uji Rata-Rata Dua Populasi	16
Tabel 3.1 Struktur Data	21
Tabel 4.1 <i>Project Charter</i>	30
Tabel 4.2 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i> Fase I	41
Tabel 4.3 Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i> Fase II	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Diagram <i>Ishikawa</i> .....14
Gambar 2.2	Peta Proses Operasi Kertas <i>Test Liner</i> .....18
Gambar 3.1	Diagram Alir .....25
Gambar 4.1	<i>Pie Chart</i> Produksi Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....29
Gambar 4.2	Diagram SIPOC Produksi Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....31
Gambar 4.3	<i>Boxplot Basic Weight</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....32
Gambar 4.4	<i>Boxplot Bursting Strength</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....33
Gambar 4.5	<i>Boxplot Moisture Content</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....34
Gambar 4.6	<i>Boxplot Cobb Size Top</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....34
Gambar 4.7	<i>Boxplot Cobb Size Bottom</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....35
Gambar 4.8	<i>Chi-Square Plot</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM .....36
Gambar 4.9	Peta Kendali M Fase I .....37
Gambar 4.10	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Individu Fase I .....38
Gambar 4.11	Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Individu Iterasi I Fase I .....39
Gambar 4.12	Diagram <i>Ishikawa</i> Fase I .....43
Gambar 4.13	<i>Boxplot Basic Weight</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM Fase II .....45
Gambar 4.14	<i>Boxplot Bursting Strength</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM Fase II .....46
Gambar 4.15	<i>Boxplot Moisture Content</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM Fase II .....47
Gambar 4.16	<i>Boxplot Cobb Size Top</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM Fase II .....48
Gambar 4.17	<i>Boxplot Cobb Size Bottom</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM Fase II .....48

Gambar 4.18	<i>Chi-Square Plot Kertas Test Liner 150 GSM</i> Fase II	51
Gambar 4.19	Peta Kendali M Fase II	52
Gambar 4.20	Peta Kendali M Fase II Iterasi I.....	53
Gambar 4.21	Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase II.....	54
Gambar 4.22	Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase II Iterasi I.....	55
Gambar 4.23	Diagram <i>Ishikawa</i> Fase II.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1A Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas <i>Test</i> <i>Liner</i> 150 GSM Fase I	65
Lampiran 1B Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas <i>Test</i> <i>Liner</i> 150 GSM Fase II	68
Lampiran 2A <i>Output</i> Uji Dependensi Fase I.....	71
Lampiran 2B <i>Output</i> Uji Dependensi Fase II	71
Lampiran 3A <i>Syntax</i> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat	72
Lampiran 3B <i>Output</i> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase I.....	73
Lampiran 3C <i>Output</i> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase II	75
Lampiran 4A <i>Syntax</i> Matlab Peta Kendali M	77
Lampiran 4B <i>Output</i> Nilai Statistik M Fase I.....	79
Lampiran 4C <i>Output</i> Nilai Statistik M Fase II.....	80
Lampiran 4D <i>Output</i> Nilai Statistik M Fase II Iterasi I	81
Lampiran 5A <i>Syntax</i> Matlab Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Individu Fase I.....	82
Lampiran 5B Nilai Statistik T^2 Fase I.....	84
Lampiran 5C Nilai Statistik T^2 Fase I Iterasi I.....	85
Lampiran 5D <i>Syntax</i> Matlab Peta Kendali T^2 <i>Hotelling</i> Individu Fase II.....	86
Lampiran 5E Nilai Statistik T^2 Fase II.....	88
Lampiran 5F Nilai Statistik T^2 Fase II Iterasi I	89
Lampiran 6A Indeks Kapabilitas Proses Fase I	90
Lampiran 6B Indeks Kapabilitas Proses Fase II.....	92
Lampiran 7A Perhitungan Level Sigma Fase I.....	95
Lampiran 7B Perhitungan Level Sigma Fase II	95
Lampiran 8 Tabel Konversi DPMO ke Level Sigma	96
Lampiran 9 Perhitungan Dekomposisi Identifikasi Variabel Penyebab <i>Out of Control</i> Fase I	98
Lampiran 10 <i>Output</i> Uji Homogenitas	101
Lampiran 11 Perhitungan Uji Perbedaan Rata-Rata Dua Fase	102

Lampiran 12	Surat Penerimaan Penelitian di PT. Mekabox International Mojokerto.....	103
Lampiran 13	Surat Pernyataan Keaslian Data	104

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kardus telah digunakan oleh berbagai industri sebagai media kemasan barang atau produk. Kardus digunakan sebagai pelindung benda dari paparan sinar matahari dan sentuhan benda-benda tajam, karena itu kardus yang berkualitas sangat diperlukan dalam dunia industri. Kekuatan kardus bergantung pada kualitas bahan dasar yang digunakan. Bahan dasar dari kardus adalah kertas karton yang memiliki sifat ramah lingkungan sehingga kardus menjadi material yang sangat ekonomis untuk dimanfaatkan.

PT. Mekabox International merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi kertas karton sebagai bahan pembuatan kardus berdasarkan permintaan pelanggan. Kertas yang diproduksi dikelompokkan menjadi empat jenis, yaitu *Test Liner* (TL), *Test Liner A* (TL A), *Corrugation Medium* (CM), dan *Power Liner* (PL). Kertas yang menjadi produk unggulan perusahaan adalah kertas *Test Liner*, terutama pada gramatur 150 GSM karena kertas tersebut mendominasi dalam segi penjualan dan setiap bulan perusahaan selalu menerima permintaan pesanan kertas tersebut.

Kualitas kertas di PT. Mekabox International terdiri dari empat *grade*. *Grade* tertinggi yaitu produk baik tanpa *defect*, *grade* kedua yaitu RMG (*Reject Masuk Gudang*), *grade* ketiga masuk dalam *reject* 98 dan *grade* terakhir masuk dalam *reject* 99. Kertas dikatakan masuk ke dalam *grade* pertama jika tidak memiliki *defect*, dikatakan masuk ke dalam *grade* kedua dan ketiga jika memiliki *defect* namun masih tetap dijual dengan harga yang lebih rendah daripada *grade* pertama, dimana perbedaannya berada pada jenis *defect*, sedangkan kertas yang tergolong *grade* 99 tidak bisa dijual dan akan dilakukan daur ulang.

PT. Mekabox International mengalami penurunan kualitas pada bulan Oktober dan November 2018. Penurunan ini terjadi pada kertas *Test Liner* 150 GSM dengan *defect rate* sebesar 2%

pada bulan September, 4% bulan Oktober, dan 5% bulan November. Penurunan kualitas ini disebabkan oleh parameter kertas yang berada di luar batas spesifikasi yang telah ditetapkan perusahaan, sehingga produk akan turun level menjadi *second grade*. Produk *second grade* akan masuk ke dalam RMG. Dampak dari adanya hal tersebut akan berpengaruh terhadap membengkaknya biaya produksi terutama pada kertas yang menjadi produk unggulan perusahaan. Apabila hal ini dibiarkan lambat laun akan merugikan perusahaan, oleh karena itu perlu dilakukan reduksi produk cacat.

Six sigma adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) atau 99,99966% dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk itu (Gasperz, 2007). Metode *six sigma* dengan tahap DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) dapat dijadikan sebagai target kinerja proses industri dengan melakukan perbaikan. Semakin tinggi target sigma yang dicapai maka semakin baik karakteristik kualitasnya. Karakteristik kualitas yang digunakan sebagai acuan peningkatan kinerja proses ada lima, yaitu *basic weight, bursting strength, moisture content, cobb size (top dan bottom)*, serta warna. Warna kertas tidak digunakan dalam penelitian karena hanya diukur jika ada permintaan dari pelanggan.

Penelitian kertas *Test Liner* di PT. Mekabox International telah dilakukan sebelumnya oleh Saputri pada tahun 2018 menggunakan metode *Measurement System Analysis* (Gauge R&R) dengan hasil bahwa *measurement system* produk kertas *Test Liner* di *Quality Control* Departemen Produksi PT. Mekabox International telah *acceptable*, artinya alat ukur *bursting strength tester*, inspektor, dan cara pengukuran yang dilakukan sudah baik sehingga jika terjadi pengamatan yang berada di luar batas kontrol bukan disebabkan oleh kesalahan dari alat ukur *bursting strength tester* dan cara pengukurannya.

1.2 Rumusan Masalah

Kertas *Test Liner* 150 GSM terjadi penurunan kualitas yang dimulai pada bulan September 2018 yaitu menghasilkan *defect rate* sebesar 2%, bulan Oktober 2018 sebesar 4%, dan bulan

November 2018 sebesar 5%. Jika penurunan kualitas tersebut dibiarkan terus menerus mengakibatkan produk menjadi turun *grade*. Perusahaan tentu menginginkan kertas yang berada pada *grade* pertama dimana tidak terdapat *defect*, namun pada kenyataannya masih terdapat *defect* pada kertas sehingga kualitas kertas akan turun menjadi *grade* kedua, *grade* ketiga, atau bahkan *grade* keempat. Penurunan *grade* pada kertas jika dibiarkan terus menerus akan berdampak pada *income* perusahaan yang semakin menurun. Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan kualitas kertas dengan menurunkan jumlah *defect* yang dihasilkan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin didapatkan berdasarkan perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kapabilitas proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM.
2. Menentukan level sigma kertas *Test Liner* 150 GSM.
3. Mengetahui faktor penyebab tingginya produk RMG pada kertas *Test Liner* 150 GSM.
4. Membuat usulan perbaikan berdasarkan akar permasalahan.

1.4 Manfaat

Dengan mengetahui tingginya penyebab *defect rate* pada kertas *Test Liner* 150 GSM, akan dilakukan penghilangan faktor penyebab sehingga pada proses berikutnya diharapkan tidak ada faktor penyebab yang sama.

1.5 Batasan Masalah

1. Karakteristik kualitas dari kertas *Test Liner* 150 GSM adalah *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size*, dan warna tetapi dalam penelitian ini karakteristik warna tidak digunakan karena hanya diukur jika ada permintaan dari pelanggan.
2. Data yang digunakan adalah data pemeriksaan kualitas kertas *Test Liner* 150 GSM pada bulan Januari 2019 sampai Februari 2019 untuk fase I dan bulan April 2019 untuk fase II.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Six sigma adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) atau 99,99966% dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada dalam produk itu (Gasperz, 2007). *Six sigma* dapat dijadikan sebagai ukuran target kinerja proses industri tentang bagaimana baiknya suatu proses transaksi produksi antara pemasok (industri) dengan pelanggan (pasar). Semakin tinggi target sigma yang dicapai maka semakin baik kinerja proses industri.

Six sigma Motorola merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas yang diterapkan oleh perusahaan Motorola sejak 1986, yang merupakan terobosan terbaru dalam bidang manajemen kualitas. Konsep *six sigma* Motorola mengizinkan pergeseran dari nilai rata-rata sebesar 1,5 σ . Keterangan level sigma Motorola ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 6 σ Motorola

Batas Spesifikasi	Persentase Memenuhi Spesifikasi	DPMO
$\pm 1\sigma$	30,23%	697700
$\pm 2\sigma$	69,13%	308700
$\pm 3\sigma$	93,32%	66810
$\pm 4\sigma$	99,3790%	6210
$\pm 5\sigma$	99,97670%	233
$\pm 6\sigma$	99,999660%	3,4

Upaya peningkatan menuju target six sigma dapat dilakukan dengan metode DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). DMAIC digunakan untuk meningkatkan proses bisnis yang telah ada dengan lima tahap sebagai berikut.

2.1 Tahap *Define*

Tahap *Define* dilakukan dengan mendefinisikan secara formal sasaran peningkatan proses yang konsisten dengan permintaan atau kebutuhan pelanggan dan strategi perusahaan. Definisi permasalahan dapat dilakukan dengan membuat *project charter*, yaitu deskripsi

singkat yang berisi permasalahan dan ruang lingkungannya. Selain itu pendefinisian masalah juga dilakukan dengan pembuatan diagram SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Output, Customer*) yang merupakan visualisasi dari proses sederhana dalam pembuatan produk (Gaspersz, 2007).

2.2 Tahap *Measure*

Tahap *Measure* adalah tahap untuk mengukur kinerja proses pada saat sekarang (*baseline measurements*) agar dapat dibandingkan dengan target yang ditetapkan dengan melakukan pemetaan proses dan pengumpulan data. Tahap ini dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui indeks kapabilitas proses dan perhitungan level sigma (Gaspersz, 2007). Penjabaran mengenai analisis kapabilitas proses produksi sebagai berikut.

2.2.1 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu analisis variabilitas relatif terhadap persyaratan atau spesifikasi produk serta untuk membantu pengembangan produksi dalam menghilangkan atau mengurangi banyak variabilitas yang terjadi. Kapabilitas proses ini merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang diterapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan (Gaspersz, 2002).

Untuk mengetahui sejauh mana proses produksi berada dalam pengendalian dapat dilakukan dengan membuat peta kendali. Peta kendali adalah teknik pemantauan proses yang disajikan dalam bentuk grafik (Montgomery, 2013). Suatu proses dikatakan tidak terkendali apabila terdapat data yang keluar dari batas kendali.

Penelitian ini menggunakan peta kendali M dan T^2 Hotelling individu. Sebelum melakukan peta kendali, terlebih dahulu dilakukan pengujian dependensi untuk mengetahui apakah karakteristik kualitas saling dependen dan dilakukan pengujian distribusi normal multivariat untuk mengetahui apakah plot telah memenuhi asumsi distribusi normal multivariat.

a. Dependensi Antar Variabel

Untuk menguji apakah antara dua variabel atau lebih terjadi independensi maka dilakukan uji hipotesis menggunakan metode *Bartlett*. Variabel-variabel yang ditunjukkan pada struktur data Tabel 2.2 dimana ukuran subgrup adalah satu dikatakan dependen jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas dimana matriks korelasi disimbolkan dengan \mathbf{R} . Untuk menguji dependensi dilakukan uji hipotesis sebagai berikut (Morrison, 2005).

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Variabel saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Variabel saling dependen)

Untuk menolak atau tidak menolak H_0 maka diperlukan statistik uji dimana statistik uji yang digunakan seperti pada persamaan (2.1).

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

Berdasarkan statistik uji tersebut, $|\mathbf{R}|$ merupakan determinan dari matriks korelasi dimana matriks korelasi ditunjukkan pada persamaan (2.2).

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Berdasarkan statistik uji tersebut, maka H_0 ditolak jika χ_{hitung}^2 lebih besar daripada $\chi_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}^2$ sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antar variabel atau dependen.

Sampel dari matriks korelasi dapat dianalogikan menggunakan matriks korelasi pada kovarians. Matriks varians kovarians terdiri dari korelasi antara variabel ke- j ($j = 1, 2, \dots, p$) dan variabel ke- h ($h = 1, 2, \dots, p$) yang disimbolkan r_{jh} dengan formula sebagai berikut (Rencher, 2002).

$$r_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ih} - \bar{x}_h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}} \quad (2.3)$$

b. Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan pengembangan dari distribusi normal univariat dimana jumlah variabel lebih dari satu dan antar variabel tersebut saling dependen. Variabel $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan parameter $\boldsymbol{\mu}$ dan $\boldsymbol{\Sigma}$ jika mempunyai *probability density function* sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007).

$$f(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})\boldsymbol{\Sigma}^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})]} \quad (2.4)$$

Untuk mengetahui apakah $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ berdistribusi normal multivariat digunakan pemeriksaan *Chi-Square* plot dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai vektor rata-rata yang disimbolkan $\bar{\mathbf{X}}$ dengan i adalah pengulangan setiap ukuran subgroup ($i=1,2,\dots,m$) dan j adalah jumlah karakteristik kualitas ($j=1,2,\dots,p$)
2. Menentukan nilai matriks varians-kovarians yang disimbolkan dengan \mathbf{S} dimana s_{ij} merupakan matriks kovarians pada karakteristik kualitas ke- i dan j .
3. Menentukan nilai jarak Mahalanobis setiap titik pengamatan dengan vektor:

$$d_i^2 = (\mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}}) \quad (2.5)$$

$$\text{Dimana: } \mathbf{S} = \begin{pmatrix} s_{11}^2 & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{12} & s_{22}^2 & \dots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1p} & s_{2p} & \dots & s_{pp}^2 \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

4. Mengurutkan nilai d_i^2 dari yang terkecil hingga terbesar:
 $d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq d_{(3)}^2 \leq \dots \leq d_{(i)}^2$.
5. Menentukan nilai q yang diperoleh dari $q = \chi_{p;((m-i+0,5)/m)}^2$.
6. Membuat *scatterplot* antara d_i^2 dan q , dikatakan berdistribusi normal multivariat apabila *Chi-Square plot* membentuk suatu garis linear dan nilai $d_i^2 \leq \chi_{(p;(m-i+0,5)/m)}^2$ lebih dari 50%.

c. Peta Kendali M

Peta kendali M merupakan peta kendali multivariat yang digunakan untuk mengontrol variabilitas proses pengamatan individu. Nilai statistik pada peta kendali M didasarkan pada rumus $x_{k+1} - x_k$ yang diperoleh dari matriks *Successive Different* (selisih antara dua vektor pengamatan yang saling berurutan) yang disimbolkan dengan \mathbf{V} ditunjukkan pada persamaan (2.8) dimana struktur data ditunjukkan pada Tabel 2.2 dengan $k=1,2,3,\dots,m-1$ (Montgomery, 2013).

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}'_{1j} \\ \mathbf{v}'_{2j} \\ \vdots \\ \mathbf{v}'_{(m-1)j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{X}_{2j} - \mathbf{X}_{1j})' \\ (\mathbf{X}_{3j} - \mathbf{X}_{2j})' \\ \vdots \\ (\mathbf{X}_{mj} - \mathbf{X}_{(m-1)j})' \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Jika ukuran subgroup hanya satu, maka plot M_k pada peta kendali M ditunjukkan pada persamaan (2.10) dengan Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) ditunjukkan pada persamaan berikut (Khoo & Quah, 2003).

$$\mathbf{U}'\mathbf{U} = \frac{1}{2} \mathbf{V}'\mathbf{S}^{-1}\mathbf{V} \quad (2.8)$$

$$\mathbf{U}'\mathbf{U} = \frac{1}{2} (\mathbf{X}_{(k+1)j} - \mathbf{X}_{kj})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_{(k+1)j} - \mathbf{X}_{kj}) \quad (2.9)$$

$$\mathbf{M}_k = \frac{1}{2} (\mathbf{X}_{(k+1)j} - \mathbf{X}_{kj})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_{(k+1)j} - \mathbf{X}_{kj}) \quad (2.10)$$

$$\text{BKA} = \chi^2_{(p;\alpha/2)} \quad (2.11)$$

$$\text{BKB} = \chi^2_{(p;1-(\alpha/2))} \quad (2.12)$$

Variabilitas proses pada peta kendali M dikatakan telah terkendali secara statistik apabila tidak ada plot yang berada di atas batas atas atau di bawah batas bawah. Jika variabilitas proses telah terkendali secara statistik maka dilanjutkan dengan pembuatan peta kendali T^2 Hotelling individu.

d. Peta Kendali T^2 Hotelling Individu

Peta kendali T^2 Hotelling merupakan diagram kendali yang digunakan untuk memonitor rata-rata proses produksi apakah telah terkendali atau tidak. Peta kendali T^2 Hotelling individu digunakan untuk proses produksi dengan dua atau lebih karakteristik kualitas yang bersifat individu. Sampel pada peta kendali individu terdiri dari m pengamatan dan p karakteristik kualitas (Montgomery, 2013). Struktur data pada peta kendali T^2 Hotelling individu ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Struktur Data Peta Kendali T^2 Hotelling Individu

Pengamatan ke- (i)	Karakteristik Kualitas ke- (j)				
	X_{1j}	...	X_{ij}	...	X_{pj}
1	x_{11}	...	x_{1j}	...	x_{1p}
2	x_{21}	...	x_{2j}	...	x_{2p}
3	x_{31}	...	x_{3j}	...	x_{3p}
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
i	x_{i1}	...	x_{ij}	...	x_{ip}
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
m	x_{m1}	...	x_{mj}	...	x_{mp}
Rata-rata	$\bar{x}_{.1}$	...	$\bar{x}_{.j}$	...	$\bar{x}_{.p}$
Varians	$S_{.1}^2$	...	$S_{.j}^2$	...	$S_{.p}^2$

Jika vektor rata-rata tiap variabel kualitas ($\bar{\mathbf{x}}$) dan matriks varians kovarians dengan *successive difference* (\mathbf{S}), maka persamaan statistik T^2 Hotelling adalah sebagai berikut.

$$T^2 = (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}_2^{-1} (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \quad (2.13)$$

Peta kendali T^2 *Hotelling* individu dihitung dengan persamaan (2.14) sebagai berikut.

$$S_2 = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{(m-1)} \quad (2.14)$$

Matriks \mathbf{V} sama dengan persamaan (2.8). Terdapat dua batas kendali yaitu batas kendali pada fase I dan fase II. Batas kendali pada fase I digunakan untuk mengetahui apakah rata-rata proses pada fase I telah terkendali secara statistik atau tidak. Jika sudah terkendali secara statistik maka batas kendali yang digunakan pada fase II menggunakan batas kendali pada fase I. Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk diagram kendali T^2 *Hotelling* pada pengamatan individu pada fase I sebagai berikut.

$$BKA = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \quad (2.15)$$

$$BKB = 0 \quad (2.16)$$

Batas kendali pada fase II digunakan ketika rata-rata proses pada fase I tidak terkendali secara statistik. Batas kendali ini digunakan untuk mengetahui apakah rata-rata proses pada fase II telah terkendali secara statistik atau tidak. Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk diagram kendali T^2 *Hotelling* pada pengamatan individu pada fase II ditunjukkan pada persamaan (2.17) berikut.

$$BKA = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p} \quad (2.17)$$

$$BKB = 0 \quad (2.18)$$

e. Indeks Kapabilitas Proses

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.

Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* adalah C_p dan C_{pk} , sedangkan untuk proses dalam keadaan *out of control* digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} . Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} secara univariat ditunjukkan pada persamaan (2.19) dan (2.20) berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6s} \quad (2.19)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{BSA - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - BSB}{3s}\right) \quad (2.20)$$

dengan

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2}{(m-1)}} \quad (2.21)$$

Penelitian ini menggunakan lebih dari satu karakteristik kualitas sehingga perhitungan indeks kapabilitas proses menggunakan indeks dilakukan secara multivariat dengan mempertimbangkan tidak diketahuinya nilai pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditunjukkan pada persamaan (2.22) dan (2.23) (Werner, 2011).

$$MP_p = \left(\prod_{j=1}^p P_{p(j)} \right)^{1/p} \quad (2.22)$$

$$MP_{pk} = \left(\prod_{j=1}^p P_{pk(j)} \right)^{1/p} \quad (2.23)$$

Apabila nilai MP_{pk} kurang dari 1 artinya kinerja proses tidak baik atau tidak kapabel secara multivariat, apabila diperoleh nilai MP_{pk} lebih dari 1 maka kinerja proses baik atau kapabel. Sedangkan jika nilai MP_{pk} kurang dari MP_p menunjukkan proses pada variabel tersebut tidak terpusat dan tidak mencapai kapabilitas potensial.

2.2.2 Level Sigma

Perhitungan level sigma dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kinerja perusahaan dalam membuat atau memproduksi suatu produk. Perhitungan level sigma dilakukan *Defect Per Opportunities* (DPO) dengan membagi banyaknya *defect* yang ditemukan dengan jumlah produk yang diproduksi, kemudian dikali dengan jumlah *Critical to Quality* (CTQ) penyebab *defect* (DO). Setelah diperoleh nilai DPO kemudian dicari *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) dengan mengalikan DPO dengan 1.000.000 (Gaspersz, 2002).

$$DPO = \frac{\text{Jumlah defect yang diinspeksi}}{\text{Jumlah produk yang diproduksi} \times DO} \quad (2.24)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (2.25)$$

2.3 Tahap Analyze

Tahap *Analyze* merupakan tahapan untuk menganalisis hubungan sebab akibat berbagai faktor yang dipelajari untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang perlu dikendalikan (Gaspersz, 2007). Untuk mengetahui faktor dominan dilakukan identifikasi variabel penyebab *out of control*, kemudian dibuat diagram *Ishikawa* berdasarkan variabel yang *out of control* untuk mengetahui akar permasalahan.

2.3.1 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control*

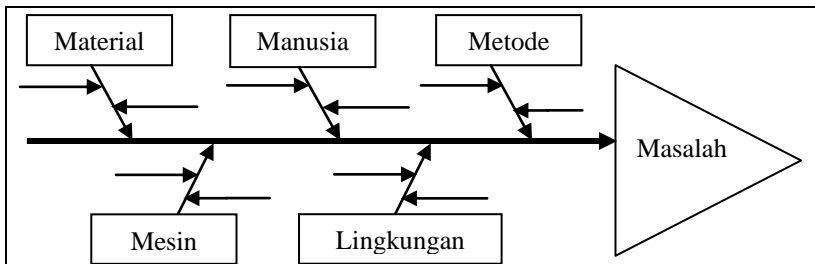
Identifikasi variabel penyebab *out of control* dilakukan saat terjadi plot yang berada di luar batas kendali pada pengontrolan rata-rata proses. Identifikasi dilakukan dengan menguraikan T^2 ke dalam komponen-komponen yang menunjukkan hasil *out of control* atau kontribusi pada masing-masing variabel individu. Formula untuk menghitung nilai d_j dilakukan dengan menghitung selisih dari T^2 yang diperoleh dari nilai T^2 Hotelling individu berdasarkan persamaan (2.13) dengan nilai statistik yang mengacu pada persamaan (2.5) untuk semua variabel proses tanpa variabel ke- j ($T_{(j)}^2$) dengan $j = 1, 2, 3, \dots, p$.

$$d_j = T^2 - T_{(j)}^2 \quad (2.26)$$

Perhitungan indikator dari kontribusi variabel ke- j atau d_j dilakukan ketika terdapat hasil pengamatan proses produksi yang *out of control* dan memprioritaskan variabel yang memiliki nilai d_j yang relatif besar. Suatu variabel dikatakan menjadi penyebab *out of control* ketika nilai $d_j > \chi_{\alpha,1}^2$ (Montgomery, 2013).

2.3.2 Diagram *Ishikawa*

Diagram *Ishikawa* atau diagram tulang ikan adalah suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Diagram ini digunakan untuk memperlihatkan faktor-faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas suatu produk. Lima hal umum di dalam proses produksi yang menjadi penyebab terjadinya masalah yaitu manusia, material, metode, mesin, dan lingkungan (Montgomery, 2013).



Gambar 2.1 Diagram *Ishikawa*

2.4 Tahap *Improve*

Tahap *Improve* merupakan tahap mengoptimalkan proses untuk mengetahui dan mengendalikan kondisi optimum proses dengan cara memberikan ide sebagai solusi untuk melakukan perbaikan proses produksi. Solusi dapat ditemukan melalui *brainstorming* untuk kemudian dibuat rencana implementasi pada proses produksi di perusahaan (Gaspersz, 2007).

2.5 Tahap *Control*

Tahap ini merupakan tahap terakhir dari metode *six sigma*. Tahap *Control* dilakukan dengan melakukan pengendalian terhadap proses secara terus menerus untuk meningkatkan kapabilitas proses menuju target *six sigma* (Gaspersz, 2007). Sebelum melakukan *control* terlebih dahulu dilakukan pengujian homogenitas matriks varians kovarians untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara populasi I dengan populasi II. Jika asumsi homogenitas matriks varians kovarians tidak terpenuhi atau matriks varians kovarians tidak homogen maka analisis akan dilanjutkan pada uji perbedaan rata-rata dua populasi dengan penjabaran sebagai berikut.

2.5.1 Homogenitas Matriks Varians Kovarians

Homogenitas matriks varians kovarians digunakan untuk mengetahui apakah matriks varians kovarians bersifat homogen atau tidak. Untuk mengetahui homogenitas matriks varians kovarians dilakukan uji *Box's M* dengan hipotesis sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007).

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$$

$$H_1 : \text{Minimal ada satu } \Sigma_l \neq \Sigma_k, \text{ dimana } l, k = 1, 2, 3, \dots, g$$

Statistik uji:

$$C = (1 - u)M \quad (2.27)$$

Dimana,

$$u = \left[\sum_l \frac{1}{(m_l - 1)} - \frac{1}{\sum_l (m_l - 1)} \right] \left[\frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p + 1)(g - 1)} \right] \quad (2.28)$$

$$M = \left[\sum_l (m_l - 1) \right] \ln |S_{\text{pooled}}| - \sum_l \sum_l [(m_l - 1) \ln |S_l|] \quad (2.29)$$

$$S_{\text{pooled}} = \frac{1}{\sum_{l=1}^g (m_l - 1)} \{ (m_1 - 1)S_1 + (m_2 - 1)S_2 + \dots + (m_g - 1)S_g \} \quad (2.30)$$

Dengan jumlah populasi sebanyak g dan karakteristik kualitas sebanyak p , dikatakan H_0 ditolak pada taraf signifikan α jika nilai $C > \chi^2_{\alpha; \frac{1}{2}(g-1)p(p+1)}$ atau $P\text{-value} < \alpha$ sehingga dapat disimpulkan bahwa matriks varians kovarians tidak homogen.

2.5.2 Uji Perbedaan Rata-Rata Dua Populasi

Uji perbedaan rata-rata dua populasi multivariat digunakan untuk membandingkan dua populasi berdasarkan vektor rata-rata dengan variabel multivariat. Struktur data untuk uji perbedaan rata-rata dua populasi ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Struktur Data Uji Rata-Rata Dua Populasi

Pengamatan ke- (i)	Karakteristik Kualitas Populasi I					Karakteristik Kualitas Populasi II				
	X_1	...	X_j	...	X_p	X_1	...	X_j	...	X_p
1	X_{111}	...	X_{1j1}	...	X_{1p1}	X_{112}	...	X_{1j2}	...	X_{1p2}
2	X_{211}	...	X_{2j1}	...	X_{2p1}	X_{212}	...	X_{2j2}	...	X_{2p2}
3	X_{311}	...	X_{3j1}	...	X_{3p1}	X_{312}	...	X_{3j2}	...	X_{3p2}
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
i	X_{i11}	...	X_{ij1}	...	X_{ip1}	X_{i12}	...	X_{ij2}	...	X_{ip2}
\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots	\vdots	...	\vdots	...	\vdots
m	X_{m11}	...	X_{mj1}	...	X_{mp1}	X_{m12}	...	X_{mj2}	...	X_{mp2}
Rata-rata	$\bar{X}_{.11}$	...	$\bar{X}_{.j1}$	...	$\bar{X}_{.p1}$	$\bar{X}_{.12}$	...	$\bar{X}_{.j2}$	...	$\bar{X}_{.p2}$
	\bar{X}_1					\bar{X}_2				
Varians	$S_{.11}^2$	...	$S_{.j1}^2$	...	$S_{.p1}^2$	$S_{.12}^2$	...	$S_{.j2}^2$	...	$S_{.p2}^2$

Hipotesis dari pengujian ini dilakukan dengan membandingkan rata-rata karakteristik kualitas pada populasi I yang disimbolkan dengan μ_1 dan rata-rata karakteristik kualitas

pada populasi II yang disimbolkan dengan μ_2 sebagai berikut (Johnson & Wichern, 2007).

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Statistik uji yang digunakan pada uji perbedaan rata-rata dua populasi pada saat matriks varians kovarians antara kedua populasi tidak homogen adalah sebagai berikut.

$$T = [\bar{x}_1 - \bar{x}_2] \left[\frac{1}{m_1} S_1 + \frac{1}{m_2} S_2 \right]^{-1} [\bar{x}_1 - \bar{x}_2] \quad (2.31)$$

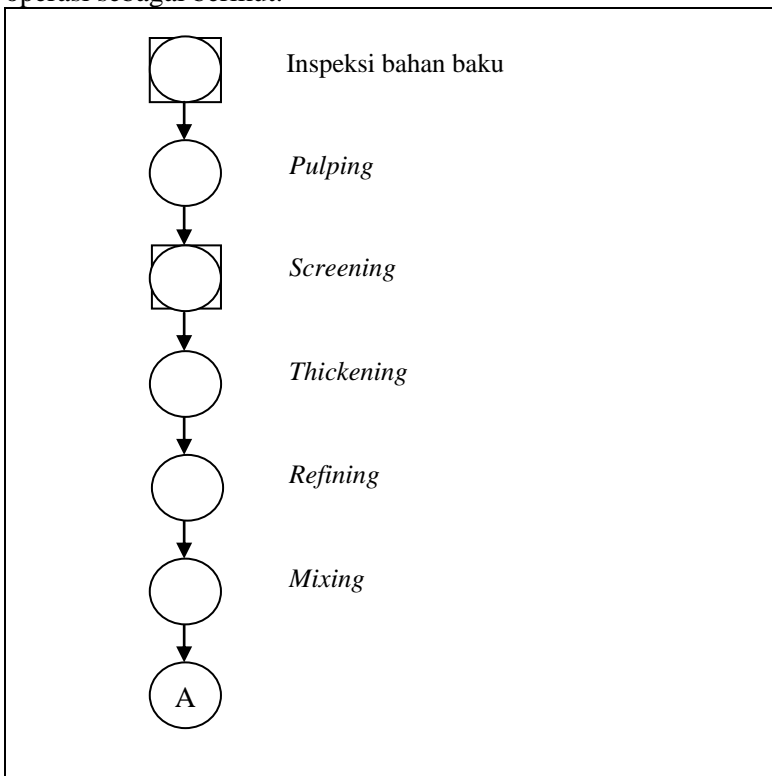
Berdasarkan struktur data pada Tabel 2.3 dan persamaan (2.32) maka dapat diketahui bahwa \bar{x}_1 merupakan vektor rata-rata pada fase I dan \bar{x}_2 merupakan vektor rata-rata pada populasi II, sedangkan S_1 merupakan matriks varians kovarians pada populasi I dan S_2 merupakan matriks varians kovarians pada populasi II. Dengan taraf signifikan α , diperoleh keputusan H_0 ditolak apabila nilai $T > \chi^2_{(\alpha;p)}$ atau terdapat perbedaan rata-rata pada populasi I dengan populasi II.

2.6 Proses Produksi Kertas *Test Liner 150 GSM*

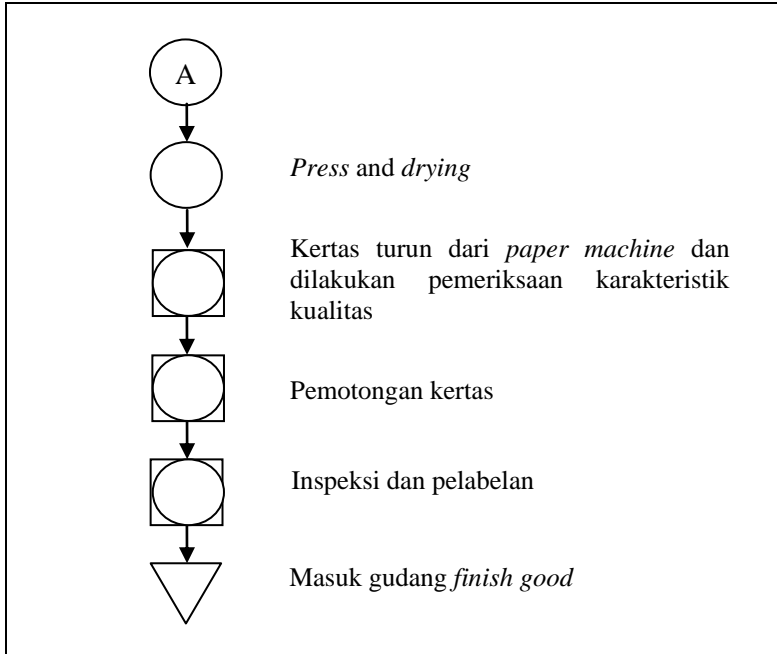
Kertas *Test Liner* merupakan salah satu produk unggulan PT. Mekabox International. Kertas *liner* adalah kertas untuk lapisan datar (*liner*) yang digunakan untuk meningkatkan daya tahan sobek pada *carton box* sehingga produk di dalamnya terlindungi pada saat proses distribusi. PT. Mekabox International melayani permintaan pelanggan untuk berbagai ukuran gramatur. Ukuran gramatur kertas pada *Test Liner* yang mendominasi yaitu 150 GSM.

Proses produksi kertas *Test Liner 150 GSM* diawali dengan melakukan inspeksi bahan baku, kemudian membuat komposisi bahan baku sesuai formula dari departemen PPIC untuk *top* dan *bottom* pada kertas. Setelah itu bahan baku dihancurkan menjadi buburan kertas dan masuk ke dalam *pulper top* dan *bottom*. Proses selanjutnya yaitu *cleaning*, yaitu memisahkan kertas dengan komponen lain seperti plastik. Buburan kertas bersifat

tidak kental, oleh karena itu perlu dipekatkan atau mengurangi kadar air pada tahap *tightening*. Pada tahap *reviming*, serabut-serabut kertas mulai terlihat. Kemudian dilakukan penambahan bahan kimia pada tahap *mixing* dan masuk ke *vertical screen* untuk penambahan alum, asa, dan retention. Kertas akan keluar ke *wire*. Proses selanjutnya yaitu pengepresan kertas dan pengeringan kertas. Kertas yang telah kering akan digulung menjadi satu jumbo roll dan diturunkan dari *paper machine*. Pada tahap ini terjadi pemeriksaan kualitas oleh laboratorium QC. Setelah dilakukan pemeriksaan, kertas dalam jumbo roll akan dipotong menjadi empat turunan untuk dicek kembali secara visual oleh QC *Rewinder*. Selanjutnya dilakukan pelabelan pada kertas dan kertas siap masuk gudang *finish good*. Proses produksi tersebut dapat digambarkan secara visual dalam peta proses operasi sebagai berikut.



Gambar 2.2 Peta Proses Operasi Kertas *Test Liner*



Gambar 2.2 Peta Proses Operasi Kertas *Test Liner* (Lanjutan)

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Objek yang digunakan dari penelitian ini adalah hasil pemeriksaan kertas *Test Liner* 150 GSM dengan surat keaslian data merujuk pada Lampiran 13. Pemeriksaan dilakukan di divisi *Quality Control* Departemen Produksi PT. Mekabox International Dusun Sebani, Ds. Tangjaronro, Kec. Ngoro, Kab. Mojokerto 61358 berdasarkan surat penerimaan Tugas Akhir pada Lampiran 12.

Kertas yang telah diperiksa berdasarkan karakteristik kualitasnya kemudian dianalisis untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya *defect rate*. Faktor penyebab perlu dihilangkan dengan melakukan usulan perbaikan sehingga penelitian ini terbagi menjadi dua fase, yaitu fase I dan fase II. Fase I merupakan kondisi saat belum dilakukan proses perbaikan yaitu produksi pada tanggal 18 Januari sampai 16 Februari 2019, sedangkan fase II merupakan kondisi setelah dilakukan perbaikan yaitu pada bulan April 2019.

Subgrup yang digunakan adalah jumbo roll pada hasil produksi kertas *Test Liner* 150 GSM dengan ukuran pengamatan sebanyak 1 kali dalam satu produksi kertas sehingga dapat dikatakan sebagai pengamatan individu. Dalam satu jumbo roll diambil 1 meter kertas yang kemudian akan diukur karakteristik kualitasnya. Struktur data pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Struktur Data

Jumbo Roll (<i>i</i>)	Karakteristik Kualitas (<i>j</i>)				
	<i>Basic Weight</i> (x_1)	<i>Bursting Strength</i> (x_2)	<i>Moisture Content</i> (x_3)	<i>Cobb Size Top</i> (x_4)	<i>Cobb Size Bottom</i> (x_5)
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<i>m</i>	X_{m1}	X_{m2}	X_{m3}	X_{m4}	X_{m5}

3.2 Variabel Penelitian

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas *Test Liner 150 GSM* dimana kualitas yang menjadi ukurannya adalah sebagai berikut.

1. X_1 (*basic weight* atau BW) adalah besaran berat kertas per satuan luas dalam satuan gram per meter persegi atau gram per *square* meter (GSM). Pengukuran *basic weight* dilakukan dengan timbangan digital dengan batas spesifikasi sebesar 150 ± 4 gram/m² untuk *Test Liner 150 GSM*.
2. X_2 (*bursting strength* atau BS) adalah kekuatan kertas dalam menahan gaya atau tekanan hingga kertas robek atau rusak. Pengukuran *bursting strength* dilakukan dengan alat bernama *bursting tester* dengan batas spesifikasi 2,9 sampai 3 Kg/cm² untuk *Test Liner 150 GSM*.
3. X_3 (*moisture content* atau MC) adalah kelembaban kertas. Pengukuran *moisture content* dilakukan dengan memasukkan kertas ke dalam oven selama 1 jam pada suhu 150°C untuk dihitung selisih berat kertas sebelum dan setelah dipanaskan dalam oven. Batas spesifikasinya sebesar 8% sampai 9% untuk *Test Liner 150 GSM*.
4. X_4 (*cobb size top* atau CST) adalah daya serap air pada bagian atas kertas. Pengukuran *cob size top* dilakukan dengan membasahi bagian atas kertas dengan air dan didiamkan selama 45 detik untuk kemudian dihitung selisih berat kertas setelah dan sebelum diberi air. Batas spesifikasinya sebesar 50 sampai 80 gram/m² untuk *Test Liner 150 GSM*.
5. X_5 (*cobb size bottom* atau CSB) adalah daya serap air pada bagian bawah kertas. Pengukuran *cob size bottom* sama dengan pengukuran pada *cob size top*, namun pada *cob size bottom* bagian bawah kertas dibasahi dengan air. Batas spesifikasinya sebesar 60 sampai 100 gram/m² untuk *Test Liner 150 GSM*.

Kertas dapat dikatakan berkualitas apabila dapat menahan menahan gaya atau tekanan dari dalam maupun dari luar. Kekuatan tersebut bergantung pada berat kertas dimana semakin berat kertas maka semakin kuat kertas tersebut dalam menahan

tekanan. Kertas yang baik juga memiliki kelembaban yang standar. Jika kertas terlalu lembab akan sulit untuk dilipat dan apabila kertas terlalu kering akan menyebabkan kertas pecah saat dilipat. Kelembaban yang tinggi juga membuat daya serap kertas terhadap air kecil sehingga jika kertas dilakukan proses *printing* akan mudah robek.

3.3 Langkah Analisis

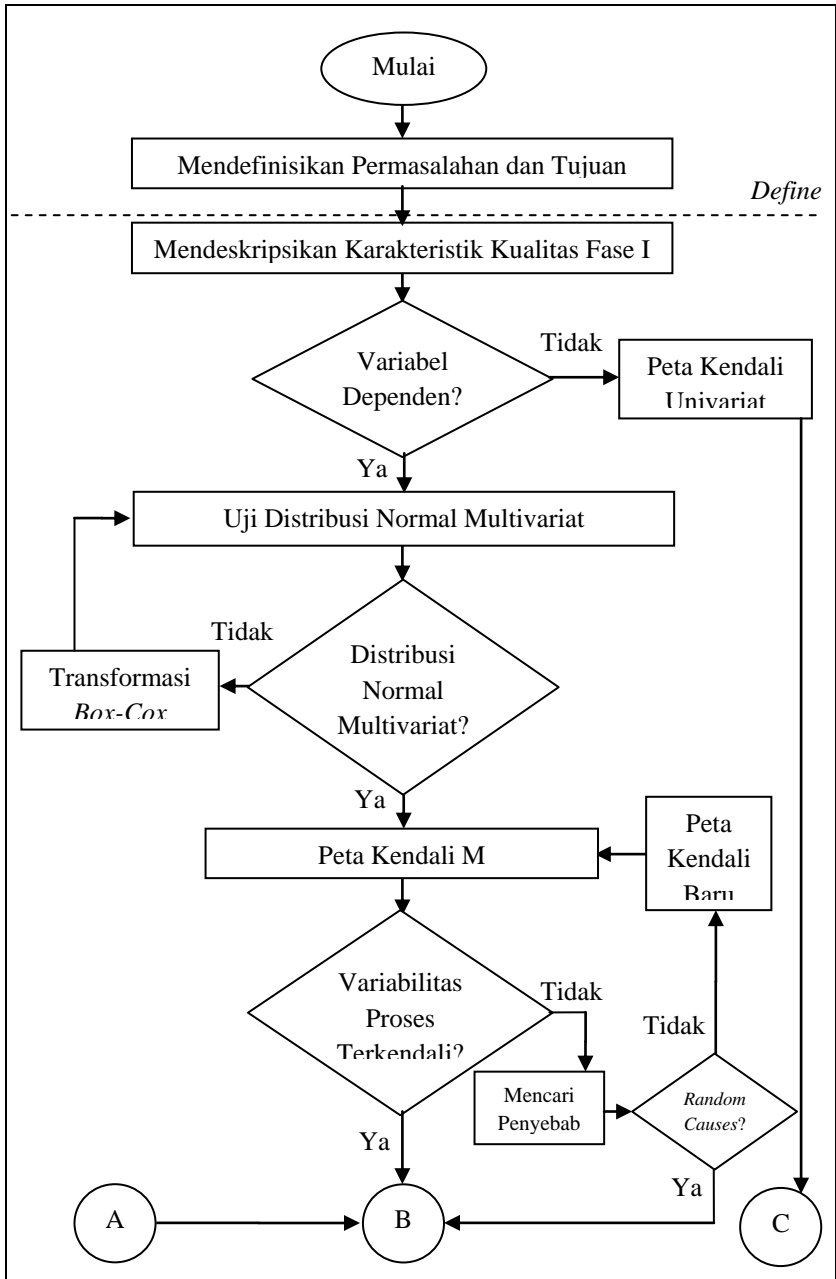
Langkah analisis dalam penelitian mengenai peningkatan kualitas kertas *Test Liner* menggunakan metode *six sigma* adalah sebagai berikut.

1. Tahap *Define*, yaitu mendefinisikan permasalahan dan penetapan tujuan penelitian dengan membuat *project charter* dan diagram SIPOC.
2. Tahap *Measure*, yaitu melakukan pengukuran dengan mendeskripsikan karakteristik kualitas kertas *Test Liner* untuk kemudian dilanjutkan pada tahap analisis kapabilitas proses dan penentuan level sigma dengan langkah-langkah.
 - a. Melakukan pengujian dependensi. Jika hasil pengujian bersifat independen maka dilanjutkan pada peta kendali univariat.
 - b. Melakukan pengujian asumsi distribusi normal multivariat. Jika tidak maka dilakukan transformasi *Box-Cox*.
 - c. Membuat peta kendali M untuk monitoring varians proses. Jika terdapat pengamatan yang *out of control* maka perlu diketahui penyebab permasalahannya. Pengamatan *out of control* yang *assignable causes* akan dibuang dan dilakukan pembuatan peta kendali baru, sedangkan pengamatan *out of control* yang *random causes* dapat dilanjutkan untuk monitoring rata-rata proses.
 - d. Membuat peta kendali T^2 Hotelling individu. Jika terdapat pengamatan yang *out of control* maka perlu diketahui penyebab permasalahannya. Pengamatan *out of control* yang *assignable causes* akan dibuang dan dilakukan pembuatan peta kendali baru, sedangkan pengamatan *out of control* yang *random causes* dapat dilanjutkan untuk

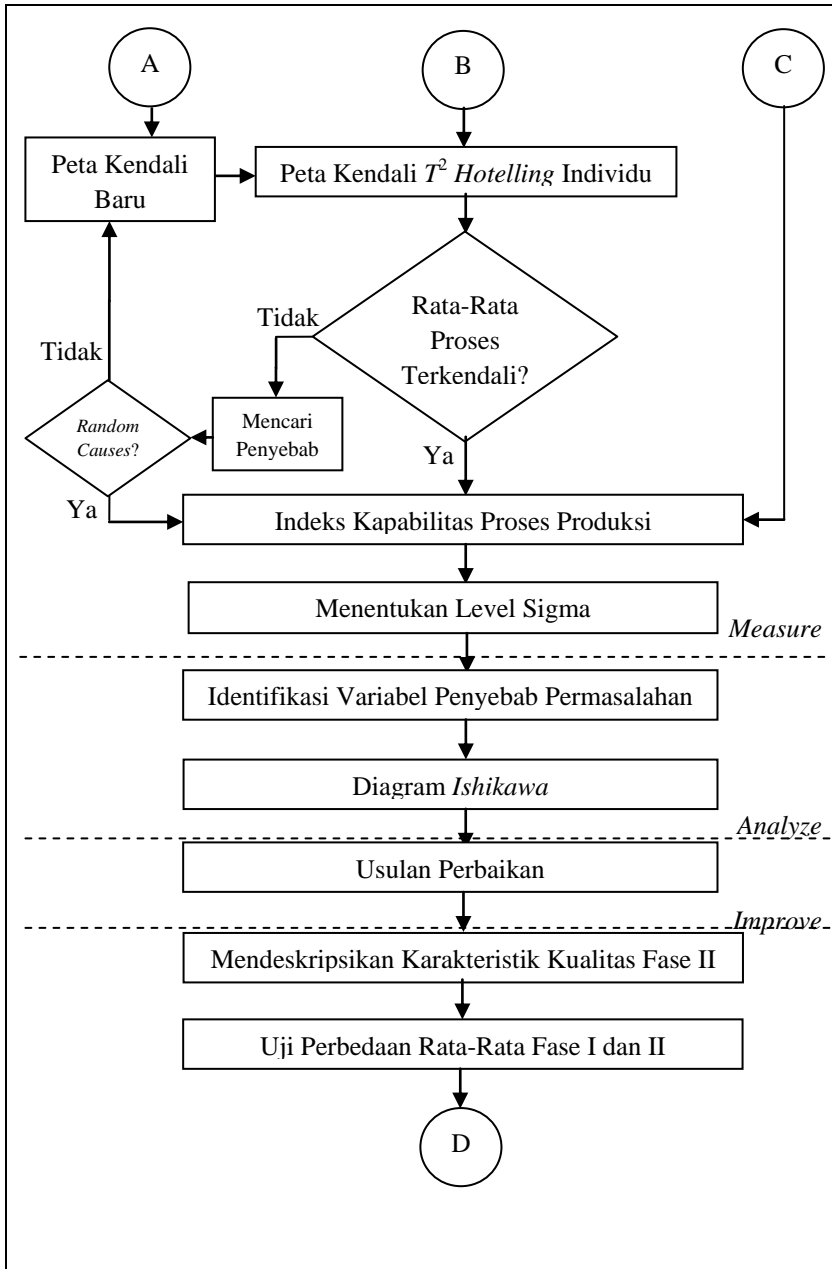
monitoring rata-rata proses. Jika seluruh pengamatan sudah berada di dalam batas kendali maka tidak perlu dilakukan identifikasi penyebab permasalahan.

- e. Menghitung indeks kapabilitas proses produksi kertas *Test Liner*.
 - f. Menentukan level sigma.
3. Tahap *Analyze*, yaitu melakukan identifikasi penyebab permasalahan pada produksi kertas *Test Liner* menggunakan identifikasi variabel penyebab permasalahan dan diagram *Ishikawa*.
 4. Tahap *Improve*, yaitu melakukan usulan perbaikan untuk menuju target level sigma sesuai dengan akar permasalahan.
 5. Tahap *Control*, yaitu melakukan pengendalian pada proses produksi setelah perbaikan. Pada tahap ini dilakukan analisis kapabilitas proses dan penentuan level sigma pada produksi kertas fase II dengan langkah-langkah sebagai berikut.
 - a. Melakukan uji perbedaan antara fase I dan fase II.
 - b. Melakukan pengujian dependensi.
 - c. Melakukan pengujian asumsi distribusi normal multivariat.
 - d. Membuat peta kendali M untuk monitoring varians proses.
 - e. Membuat peta kendali T^2 *Hotelling* untuk monitoring rata-rata proses.
 - f. Apabila terdapat hasil proses produksi yang *out of control*, maka dilakukan identifikasi penyebab *out of control* menggunakan diagram *Ishikawa*.
 - g. Menghitung indeks kapabilitas proses.
 - h. Penentuan level sigma.
 6. Menginterpretasikan hasil analisis.
 7. Menarik kesimpulan.

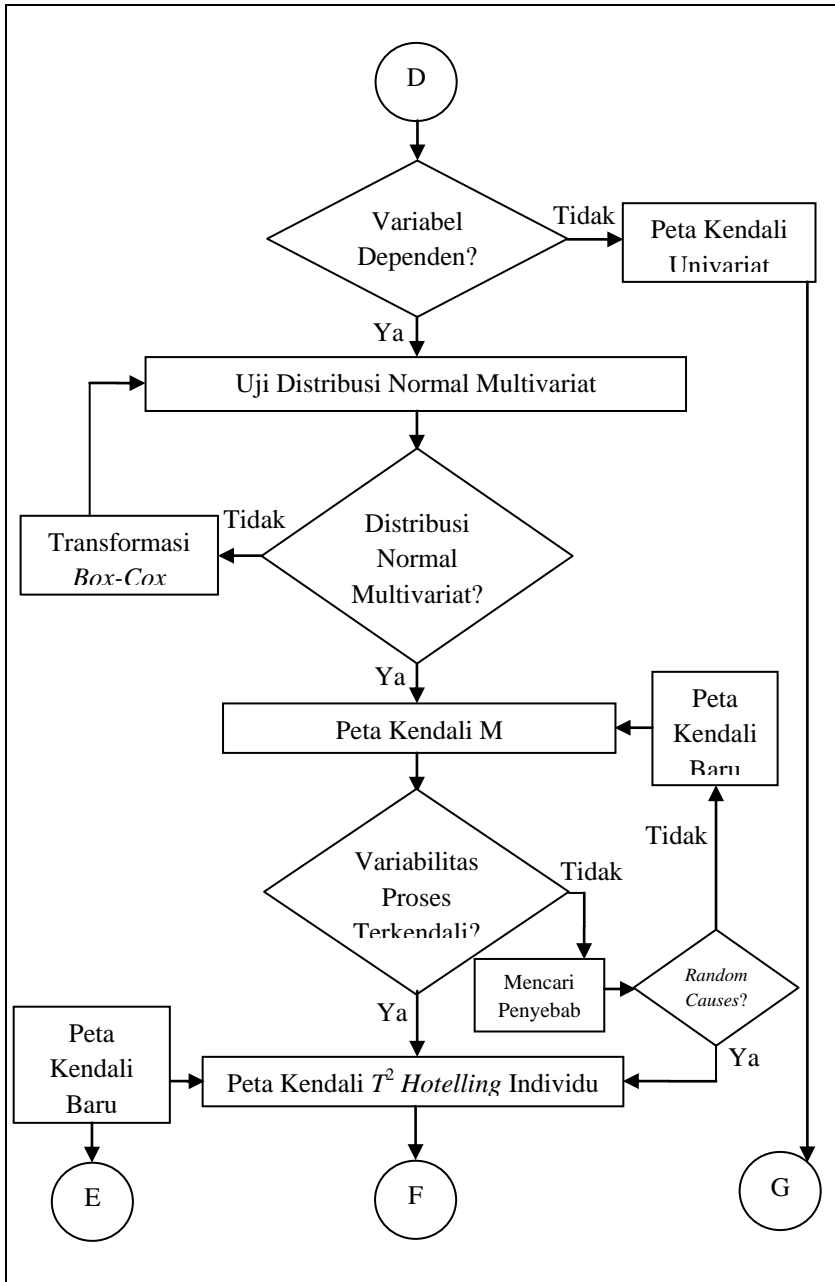
Langkah analisis di atas dapat disajikan dalam bentuk diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



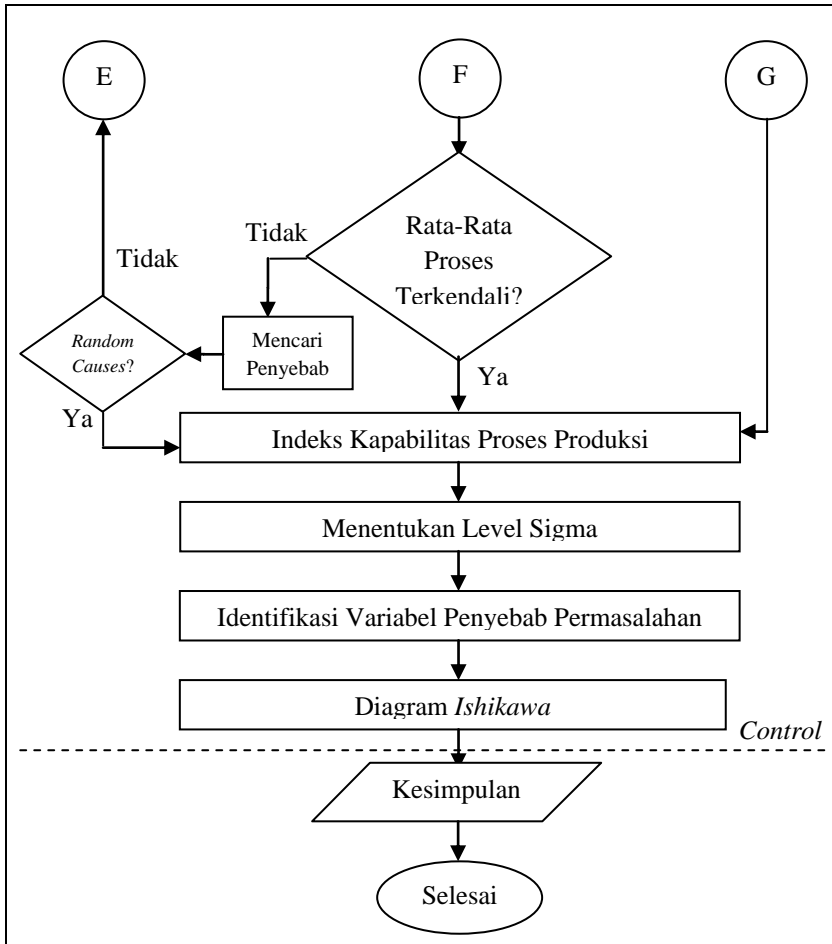
Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)



Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)



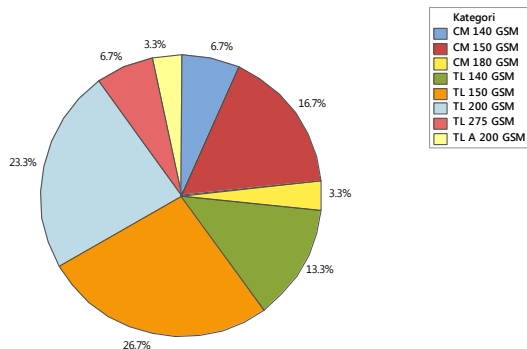
Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menjelaskan permasalahan yang terjadi pada kertas *Test Liner* 150 GSM di PT. Mekabox International menggunakan empat tahap dari metode *Six Sigma*, yaitu *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*. Permasalahan akan dijabarkan pada tahap *Define*, kemudian dilakukan pengukuran hasil produksi pada tahap *Measure* sehingga dapat diketahui apakah terdapat pengamatan yang tidak stabil. Setelah dilakukan pengukuran, langkah selanjutnya yaitu melakukan identifikasi variabel penyebab permasalahan pada tahap *Analyze*, sehingga pada tahap *Improve* dapat dilakukan saran-saran usulan perbaikan produk dan hasil dari implementasi usulan perbaikan ditunjukkan pada tahap *Control*. Adapun penjelasan masing-masing tahap sebagai berikut.

4.1 Tahap *Define*

Tahap *Define* merupakan tahap pertama dari metode *Six Sigma* yang dilakukan dengan mendefinisikan secara formal sasaran peningkatan proses. Definisi permasalahan dapat dilakukan dengan membuat *project charter* dan diagram SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, dan Customers*). Gambar 4.1 menunjukkan identifikasi produk yang merupakan sasaran peningkatan proses kertas *Test Liner* 150 GSM.



Gambar 4.1 Pie Chart Produksi Kertas *Test Liner* 150 GSM

Produksi kertas *Test Liner* (TL) 150 GSM yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 memiliki persentase tertinggi daripada jenis kertas lainnya sebesar 26,7% pada periode 18 Januari sampai 16 Februari 2019. Oleh karena itu kertas jenis ini menjadi produk unggulan PT. Mekabox International.

Perusahaan tentu ingin hasil produksi dengan *defect* yang seminimal mungkin terutama bagi produk yang menjadi unggulan. Namun terjadi permasalahan bahwa kertas *Test Liner* (TL) 150 GSM mengalami peningkatan *defect*. Permasalahan tersebut akan dijabarkan dalam bentuk *project charter* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 *Project Charter*

<i>Project Charter</i>	
Judul Penelitian	Metode <i>Six Sigma</i> untuk Mengurangi <i>Defect</i> Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM di PT. Mekabox International
Lokasi	PT. Mekabox International
Mulai Penelitian	Januari 2019
Akhir Penelitian	April 2019
Nama Peneliti	Puteri Ardhya Pramesti
Inspektor	Pujo S., Aris S., dan Darmaji
Pembimbing	Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT
Pernyataan Masalah	Produksi kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM di PT. Mekabox International pada fase I dengan periode 18 Januari sampai 16 Februari 2019 menghasilkan level sigma sebesar $3,06 \sigma$ di mana masih jauh dari 6σ . Selain itu, banyak jumbo roll yang <i>out of control</i> sehingga proses tidak stabil.
Tujuan Penelitian	Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui apakah proses produksi kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM telah kapabel atau tidak, mengetahui level sigma, mengidentifikasi variabel penyebab terjadinya permasalahan, sehingga dapat dilakukan usulan perbaikan berdasarkan hasil analisis.

Setelah dilakukan pembuatan *project charter*, langkah selanjutnya yaitu membuat diagram SIPOC sebagai bentuk visual

dari proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM di PT. Mekabox International yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

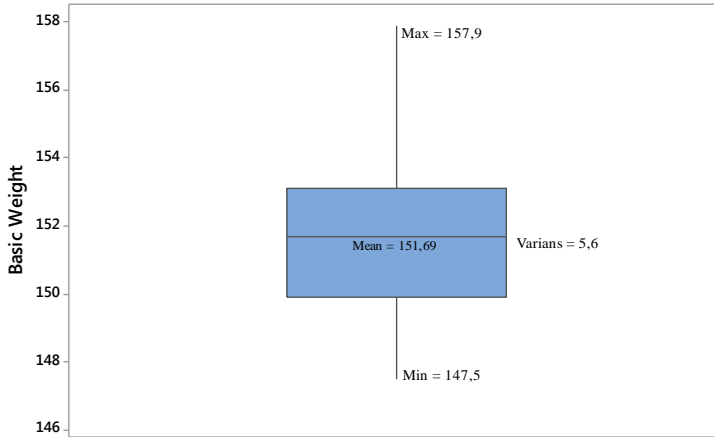
<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
<p>NCC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT. Supracor Sejahtera • PT. Jaskin <p>OCC:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mitra Mandiri • UD. Yanto <p>Mix Waste:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mitra Mandiri • Cahaya Utama 	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan baku (OCC, NCC, <i>mix waste</i>) • Alum • Tapioka • Bahan <i>sizing</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeksi bahan baku • <i>Pulping</i> • <i>Screening</i> • <i>Thickening</i> • <i>Refining</i> • <i>Mixing</i> • <i>Pressing</i> • <i>Drying</i> • <i>Rewinding</i> • <i>Finish good</i> 	<p>Kertas <i>Test Liner</i> 150 GSM</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PT. Gunung Gilead • PT. Karya Indah Multiguna • PT. Gudang Garam • PT. Sawunggaling Karya Trans • PT. Primabox Adi Perkasa

Gambar 4.2 Diagram SIPOC Produksi Kertas *Test Liner* 150 GSM

4.2 Tahap *Measure*

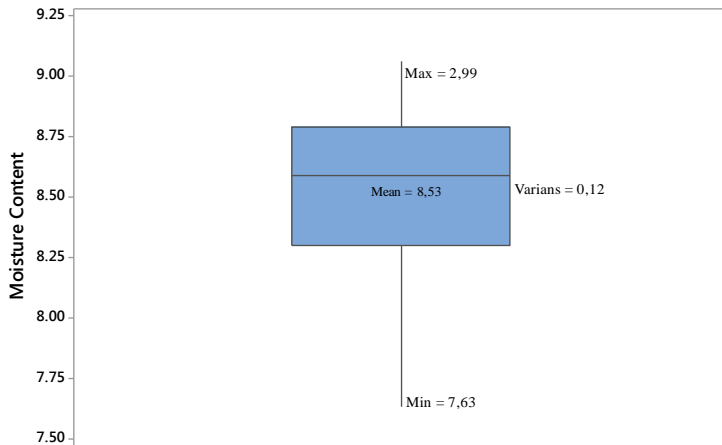
Tahap *measure* dilakukan dengan melakukan pengukuran terhadap hasil proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I yang ditunjukkan pada Lampiran 1A. Pengukuran dilakukan terhadap semua karakteristik kualitas dengan melakukan analisis kapabilitas proses dan penentuan level sigma. Sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu mendeskripsikan karakteristik kertas *Test Liner* 150 GSM yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7.

Rata-rata *basic weight* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase I yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 sebesar 151,69 gram/m² dengan nilai minimum sebesar 147,5 gram/m² dan nilai maksimum sebesar 157,9 gram/m². Rata-rata dan nilai minimum *basic weight* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 146 sampai 154 gram/m², sedangkan nilai maksimum *basic weight* berada di luar batas spesifikasi. Tidak terdapat pengamatan yang *outlier* yang artinya *basic weight* pada kertas *Test Liner* 150 GSM tidak terdapat pengamatan yang berbeda jauh dengan pengamatan yang lain namun memiliki keragaman yang cukup besar yaitu 5,6 yang menunjukkan bahwa antara data *basic weight* satu dengan lainnya terpaut cukup jauh.



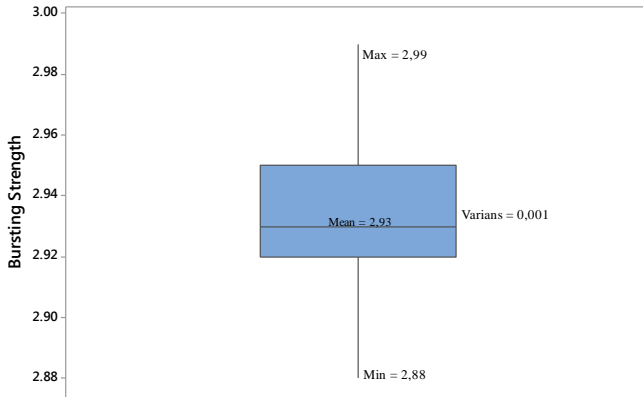
Gambar 4.3 Boxplot Basic Weight Kertas Test Liner 150 GSM

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa rata-rata *bursting strength* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase I sebesar 2,93 Kgf/cm² dengan nilai minimum sebesar 2,88 Kgf/cm² dan nilai maksimum sebesar 2,99 Kgf/cm². Rata-rata dan nilai maksimum *bursting strength* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 2,9 sampai 3 Kgf/cm², sedangkan nilai minimum *bursting strength* berada di luar batas spesifikasi. Tidak terdapat pengamatan yang *outlier* yang artinya *bursting strength* pada kertas *Test Liner* 150 GSM tidak terdapat pengamatan yang berbeda jauh dengan pengamatan yang lain, serta memiliki keragaman paling kecil daripada keragaman dari karakteristik kualitas lain, yaitu sebesar 0,001 yang menunjukkan bahwa antara data *bursting strength* satu dengan lainnya tidak terpaut jauh.



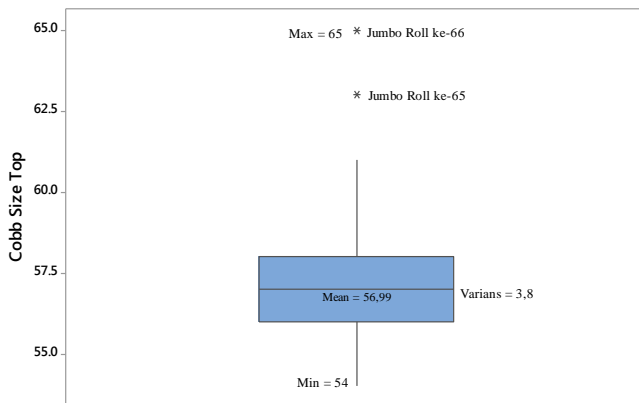
Gambar 4.4 Boxplot Bursting Strength Kertas Test Liner 150 GSM

Moisture content pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase I yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 memiliki rata-rata sebesar 8,53% dengan nilai minimum sebesar 7,63% dan nilai maksimum sebesar 9,06%. Rata-rata *moisture content* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 8% sampai 9%, sedangkan nilai minimum dan maksimum *moisture content* berada di luar batas spesifikasi. Tidak terdapat pengamatan yang *outlier* yang artinya *moisture content* pada kertas *Test Liner* 150 GSM tidak terdapat pengamatan yang berbeda jauh dengan pengamatan yang lain, serta memiliki keragaman yang cukup kecil, yaitu sebesar 0,12 yang menunjukkan bahwa antara data *moisture content* satu dengan lainnya tidak terpaut jauh.



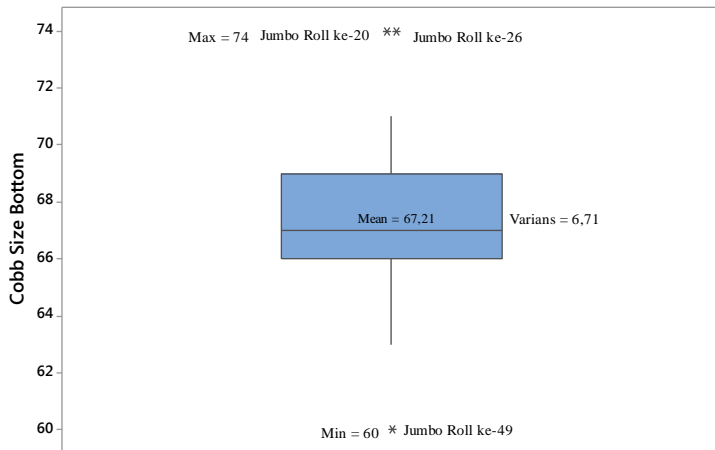
Gambar 4.5 Boxplot Moisture Content Kertas Test Liner 150 GSM

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa rata-rata *cobb size top* sebesar 56,99 gram/m² di mana masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 50 sampai 80 gram/m². Begitu pula pada nilai minimumnya sebesar 54 gram/m² dan nilai maksimum sebesar 65 gram/m². Keragaman dari *cobb size top* kertas Test Liner 150 GSM cukup besar, yaitu sebesar 3,8 yang menunjukkan bahwa antara data *cobb size top* satu dengan lainnya terpaut cukup jauh serta terdapat dua jumbo roll yang *outlier* yaitu pada jumbo roll ke-65 dan ke-66.



Gambar 4.6 Boxplot Cobb Size Top Kertas Test Liner 150 GSM

Rata-rata *cobb size bottom* pada kertas *Test Liner 150 GSM* fase I yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 sebesar 67,21 gram/m² di mana masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 60 sampai 100 gram/m². Begitu pula untuk nilai minimumnya sebesar 60 gram/m² dan nilai maksimum sebesar 74 gram/m². Keragaman dari *cobb size bottom* kertas *Test Liner 150 GSM* paling besar daripada keragaman dari karakteristik kualitas lainnya, yaitu sebesar 6,71 yang menunjukkan bahwa antara data *cobb size bottom* satu dengan lainnya terpaut sangat jauh serta terdapat tiga jumbo roll yang *outlier* yaitu pada jumbo roll ke-20, 26, dan ke-49.



Gambar 4.7 Boxplot Cobb Size Bottom Kertas *Test Liner 150 GSM*

4.2.1 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kertas *Test Liner 150 GSM* Fase I

Analisis kapabilitas proses produksi pada kertas *Test Liner 150 GSM* dilakukan untuk mengetahui sejauh mana proses produksi berada dalam pengendalian dengan menggunakan peta kendali M dan T² Hotelling. Terdapat asumsi yang dipenuhi untuk membuat peta kendali, di antaranya adalah dependensi antar karakteristik kualitas dan normal multivariat.

a. Dependensi Fase I

Untuk mengetahui apakah variabel-variabel *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size top*, dan *cobb size bottom* dependen atau tidak maka digunakan metode *Bartlett* dengan hipotesis sebagai berikut.

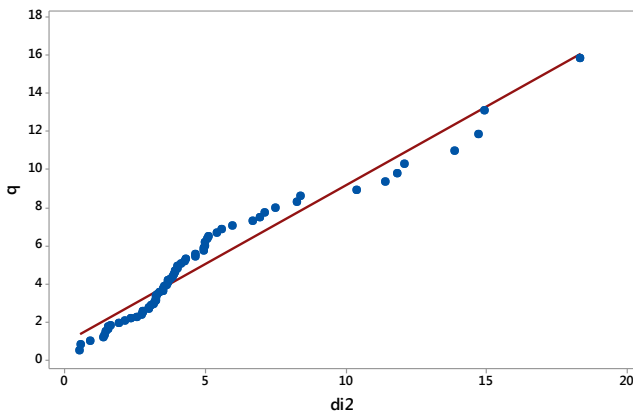
$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Kelima karakteristik kualitas saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Kelima karakteristik kualitas saling dependen)

Dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan merujuk pada Lampiran 2A diperoleh statistik uji *chi-square* sebesar 39,330. Nilai *chi-square* tersebut lebih besar daripada *chi-square* tabel pada taraf signifikan 5% sebesar 18,307 dan diperkuat dengan *P-value* sebesar 0,000 di mana kurang dari taraf signifikan sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak yang artinya kelima karakteristik kualitas, yaitu *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size top*, dan *cobb size bottom* saling dependen.

b. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase I

Pemeriksaan distribusi normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah hasil proses produksi kertas *Test Liner 150 GSM* telah berdistribusi normal multivariat atau tidak. Variabel-variabel dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh berdasarkan Persamaan (2.5) serta menggunakan *syntax* pada Lampiran 3A pada data yang merujuk pada Lampiran 1A.

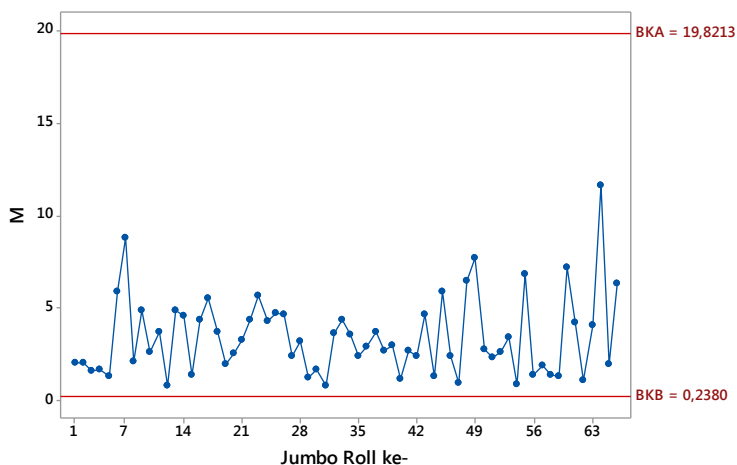


Gambar 4.8 *Chi-Square Plot* Kertas *Test Liner 150 GSM*

Berdasarkan Gambar 4.8, secara visual titik-titik yang terbentuk, mengikuti pola persebaran normal multivariat. Diperoleh nilai proporsi sebesar 0,626866 yang merujuk pada Lampiran 3B di mana nilai tersebut lebih dari 50% sehingga dapat dikatakan bahwa hasil proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I berdistribusi normal multivariat.

c. Peta Kendali M Fase I

Peta kendali M digunakan untuk melihat apakah variabilitas proses telah terkendali secara statistik atau tidak. Hasil monitoring variabilitas proses dari data yang merujuk pada Lampiran 1A menggunakan *syntax* pada Lampiran 4A ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.

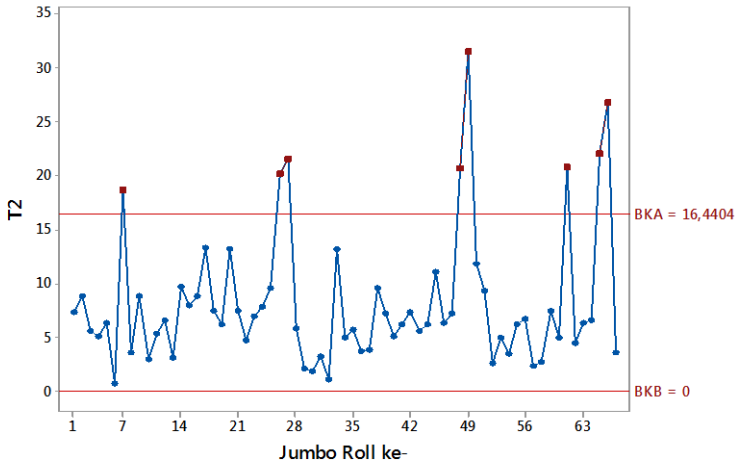


Gambar 4.9 Peta Kendali M Fase I

Titik-titik pada peta kendali M yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.10) dan ditunjukkan pada Lampiran 4B berada di antara Batas Kendali Atas (BKA) sebesar 19,8213 dan Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0,2380, sehingga dapat dikatakan bahwa variabilitas proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM pada fase I telah terkendali secara statistik.

d. Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase I

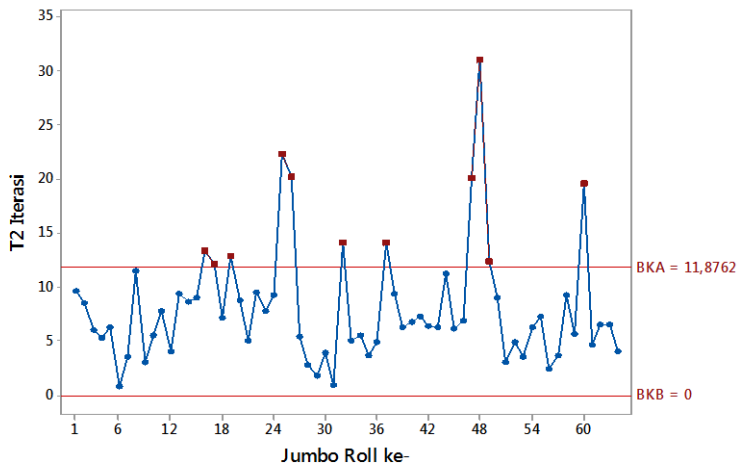
Peta kendali T^2 Hotelling individu digunakan untuk melihat apakah rata-rata proses telah terkendali secara statistik atau tidak. Hasil monitoring rata-rata proses dari data yang merujuk pada Lampiran 1A menggunakan *syntax* pada Lampiran 5A ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase I

Titik-titik pada peta kendali T^2 Hotelling individu dihasilkan berdasarkan persamaan (2.13) dan ditunjukkan pada Lampiran 5B. Terdapat sembilan observasi pada jumbo roll yang berada di atas Batas Kendali Atas (BKA) sebesar 16,4404 dan tidak ada observasi yang berada di bawah Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0. Sembilan observasi tersebut berada pada jumbo roll ke-7, 26, 27, 48, 49, 61, 65, dan 66. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, penyebab pengamatan *out of control* pada jumbo roll ke-26, 27, 48, 49, dan 61 tidak diketahui sedangkan pada jumbo roll ke-7 kertas putus di daerah *Wet End* dan *Dry Group V* dan VI pada saat proses produksi yang mengakibatkan produksi harus dihentikan. Jumbo roll ke- 65 dan 66 terjadi *out of control* karena *trouble* pada *conveyor top* dan pergantian *shift*. Ketiga kasus tersebut merupakan penyebab khusus atau *special causes* sehingga perlu dilakukan pembuatan peta kendali T^2 Hotelling

individu baru dengan menghilangkan pengamatan ke- 7, 65, dan 66.



Gambar 4.11 Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Iterasi 1 Fase I

Pembuatan peta kendali T^2 Hotelling individu baru pada iterasi pertama dengan hasil seperti pada Lampiran 5C menghasilkan nilai Batas Kendali Atas (BKA) sebesar 11,8762 dan Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0. Terdapat 11 pengamatan yang berada di luar BKA, yaitu pada jumbo roll ke-16, 17, 19, 25, 26, 32, 37, 47, 48, 49, dan 60. Semua pengamatan tersebut tidak diketahui penyebabnya atau *random causes* sehingga tidak perlu dilakukan pembuatan peta kendali T^2 Hotelling individu baru namun rata-rata proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM pada fase I tetap tidak terkendali secara statistik karena banyak pengamatan yang tidak berfluktuasi di sekitar rata-rata.

e. Indeks Kapabilitas Proses Fase I

Setelah dilakukan analisis kapabilitas proses pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase I, kemudian dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses untuk mengetahui apakah hasil proses produksi telah kapabel atau tidak. Indeks yang digunakan untuk

mengukur kapabilitas proses produksi dalam penelitian ini yaitu MP_p dan MP_{pk} karena proses tidak terkendali secara statistik.

Perhitungan indeks kapabilitas proses dilakukan secara multivariat dengan menghitung bersama-sama untuk seluruh karakteristik kualitas. Hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat merujuk pada Lampiran 6A yang mengacu pada persamaan (2.22) dan (2.23) sebagai berikut.

$$MP_p = \sqrt[5]{0,59 \times 0,71 \times 0,49 \times 3,36 \times 2,57} = 1,1213$$

$$MP_{pk} = \sqrt[5]{0,36 \times 0,45 \times 0,47 \times 1,52 \times 0,92} = 0,6389$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara multivariat diperoleh nilai MP_p sebesar 1,1213 di mana nilai tersebut lebih dari 1 yang menandakan bahwa proses produksi kertas *Test Liner 150 GSM* fase I secara multivariat telah presisi, namun diperoleh nilai multivariat untuk P_{pk} atau MP_{pk} sebesar 0,6389 di mana nilai tersebut kurang dari 1 yang artinya proses produksi memiliki akurasi yang tidak baik. Selain itu, nilai MP_{pk} lebih kecil daripada MP_p sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi kertas *Test Liner 150 GSM* fase I secara multivariat tidak mencapai kapabilitas potensial.

4.2.2 Level Sigma Fase I

Penentuan level sigma bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kinerja perusahaan dalam membuat atau memproduksi suatu produk. Perusahaan tentu menginginkan produk dengan level sigma sebesar 6σ yang artinya hanya terdapat 3 atau 4 cacat pada 1 juta produk dalam sekali proses produksi.

Level sigma dihitung berdasarkan jumlah *defect* dari keseluruhan produksi kertas *Test Liner 150 GSM* fase I, kemudian berdasarkan persamaan (2.24) jumlah *defect* tersebut dibagi dengan perkalian antara banyaknya pengamatan dengan karakteristik kualitas produk sehingga diperoleh nilai DPO sebesar 0,059375. Berdasarkan persamaan (2.25) nilai DPO dikalikan dengan 1 juta produk sehingga diperoleh nilai DPMO sebesar 59375 yang artinya terdapat 59375 unit produk cacat dari 1 juta produk dalam sekali produksi sehingga berdasarkan Lampiran 7A diperoleh level sigma pada proses produksi kertas

Test Liner 150 GSM fase I sebesar $3,06\sigma$. Level sigma yang dihasilkan pada fase I masih jauh berbeda dengan level sigma yang diinginkan perusahaan sehingga perlu dilakukan reduksi *defect* untuk meningkatkan kualitas produk.

4.3 Tahap *Analyze*

Tahap *Analyze* dilakukan untuk menganalisis hubungan sebab akibat berbagai faktor yang dipelajari untuk mengetahui faktor-faktor dominan yang perlu dikendalikan. Identifikasi variabel penyebab *out of control* dilakukan untuk mengetahui faktor-faktor dominan penyebab ketidakstabilan proses, selain itu juga dilakukan pembuatan diagram *Ishikawa* untuk menggambarkan sebab-akibat terjadinya *out of control*.

4.3.1 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control* Fase I

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari tahap *Measure* terdapat variabel atau karakteristik kualitas yang *out of control* pada produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I. Untuk mengetahui karakteristik kualitas dominan penyebab *out of control* dapat dilakukan dengan identifikasi penyebab *out of control* menggunakan metode dekomposisi statistik T^2 . Identifikasi dilakukan berdasarkan persamaan (2.26) dengan langkah-langkah seperti yang tertera pada Lampiran 9 sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control* Fase I

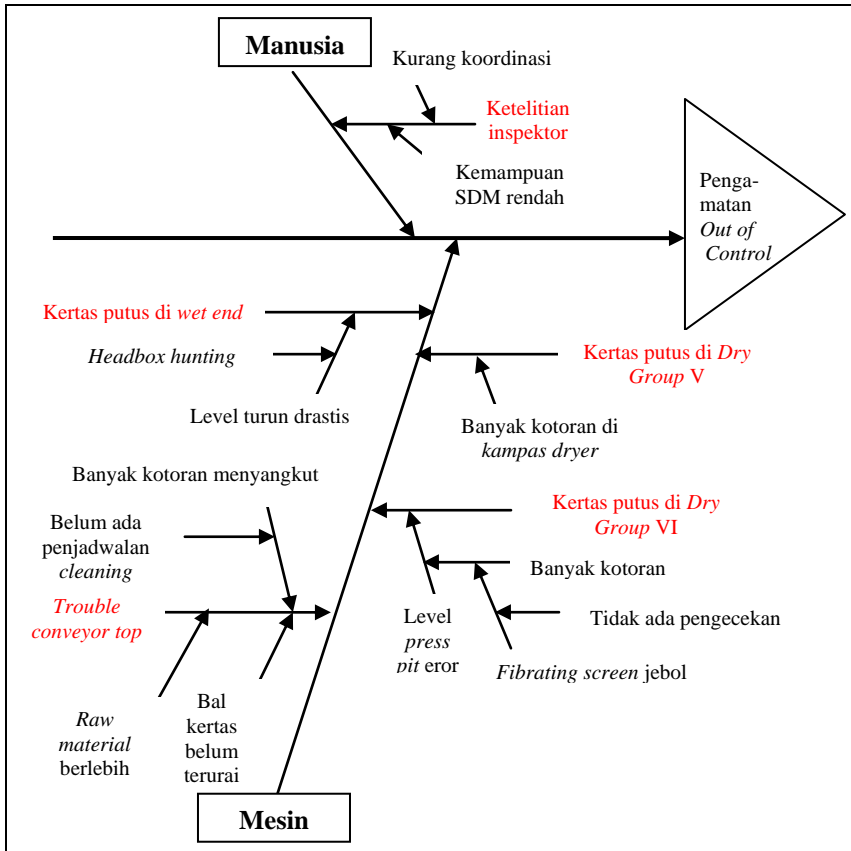
Jumbo Roll ke-	d_j					Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>
	BW	BS	MC	CST	CSB	
16	9,60	8,03	5,58	5,01	8,83	Semua
17	4,59	5,93	5,02	5,88	3,53	Semua kecuali CSB
19	3,10	3,33	2,91	2,65	9,65	CSB
25	8,01	11,10	7,70	8,30	8,19	Semua
26	12,59	14,36	7,81	8,77	12,66	Semua
32	7,44	6,48	8,93	8,91	6,16	Semua
37	5,41	6,28	2,13	2,01	2,81	BW&BS
47	11,68	9,55	14,51	12,47	8,63	Semua

Jumbo Roll ke-	d_j					Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>
	BW	BS	MC	CST	CSB	
48	4,21	3,99	8,47	5,28	11,12	Semua
49	13,11	13,51	15,60	13,60	12,78	Semua
60	16,66	10,41	9,43	8,01	7,17	Semua

Nilai statistik uji T^2 yang diperoleh dari perhitungan peta kendali T^2 Hotelling pada tahap *Measure* dibandingkan dengan nilai *Chi-Square* sebesar 3,84. Karakteristik kualitas dikatakan menjadi penyebab *out of control* ketika nilai d_j lebih besar daripada *Chi-Square* yang ditunjukkan pada nilai d_j dengan penulisan tebal. Berdasarkan Tabel 4.2 diperoleh hasil perhitungan yang menunjukkan pada jumbo roll ke-16, 25, 26, 32, 47, 48, 49, dan 60 nilai d_j pada semua karakteristik kualitas lebih dari nilai *Chi-Square* sebesar 3,84 yang artinya semua variabel kualitas pada jumbo roll tersebut yaitu *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size top*, dan *cobb size bottom* menjadi penyebab terjadinya ketidakstabilan rata-rata proses, sedangkan pada jumbo roll ke-17, semua variabel kecuali *cobb size bottom* menjadi penyebab terjadinya ketidakstabilan proses. Pada jumbo roll ke-37, hanya *basic weight* dan *bursting strength* yang menjadi penyebab, begitu pula pada jumbo roll ke-19 dimana hanya *cobb size bottom* yang menjadi penyebab ketidakstabilan rata-rata proses pada kertas *Test Liner 150 GSM* di fase I sehingga perlu dilakukan penelurusan sebab akibat terjadinya pengamatan yang *out of control*.

4.3.2 Faktor Penyebab *Out of Control* Fase I

Faktor penyebab *out of control* pada produksi kertas *Test Liner 150 GSM* fase I dapat ditelusuri menggunakan diagram *Ishikawa* dengan 4M + 1L. Identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut dilakukan sebagai evaluasi bagi perusahaan untuk lebih memperhatikan faktor-faktor penyebab ketidakstabilan proses sehingga diharapkan proses pada fase berikutnya dapat berjalan lebih baik.



Gambar 4.12 Diagram Ishikawa Fase I

Penyebab terjadinya variabel yang *out of control* pada proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I disebabkan oleh faktor mesin dan manusia. Produksi sempat terhenti karena kertas putus di daerah *Wet End*, *Dry Group V* dan *VI* sehingga mengalami keterlambatan proses produksi. Kertas yang putus di daerah *Wet End* disebabkan level yang dihasilkan oleh mesin *headbox* turun drastis karena *headbox* yang bermasalah atau *hunting*. Kertas putus di *Dry Group V* disebabkan karena banyaknya kotoran dari *kampas dryer*, begitu pula pada *Dry Group VI* yang disebabkan oleh *level press pit* yang eror. *Press pit* yang eror disebabkan karena banyak kotoran akibat *fibrating*

screen yang jebol. Hal tersebut terjadi karena tidak ada pengecekan mesin secara rutin.

Selain itu, juga terjadi *trouble* pada *conveyor top* sebagai tempat penampungan buburan kertas pada tahap *pulping*, permasalahan tersebut diakibatkan karena *raw material* yang diumpankan ke *conveyor* berlebih dan bal kertas belum terurai secara sempurna. Terjadinya permasalahan tersebut disebabkan oleh operator yang kurang pelatihan. Selain itu, banyak kotoran yang menyangkut di *compier* juga menjadi penyebab *trouble* pada *conveyor top*, hal itu terjadi karena belum ada penjadwalan *cleaning*. Faktor manusia yang menjadi penyebab terjadinya variabel *out of control* yaitu ketelitian inspektor dalam melakukan pengukuran terhadap variabel kualitas produk, hal tersebut disebabkan karena komunikasi dan koordinasi saat pergantian *shift* tidak berjalan dan kemampuan SDM yang rendah.

4.4 Tahap Improve

Setelah dilakukan identifikasi terhadap faktor-faktor penyebab variabel yang *out of control*, diperoleh usulan perbaikan untuk produksi kertas *Test Liner 150 GSM* pada fase berikutnya. Usulan yang dapat dijadikan bahan pertimbangan perusahaan sebagai berikut.

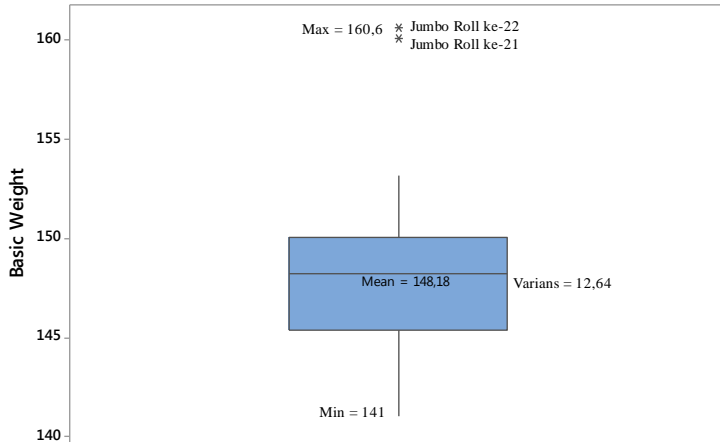
1. Membuat *checklist* untuk *controlling* inspektor dan operator.
2. Melakukan kalibrasi mesin secara rutin minimal sekali dalam sebulan, terutama pada mesin *headbox* dan *press pit*.
3. Melakukan perawatan mesin setiap hari, terutama pada mesin-mesin penyebab terjadinya penyumbatan kotoran yaitu *dryer* dan mesin pada daerah *wet end*.
4. Membuat penjadwalan *cleaning* pada *conveyor top*.

Usulan kedua telah diterapkan pada hari Minggu, 7 April 2019.

4.5 Tahap Control

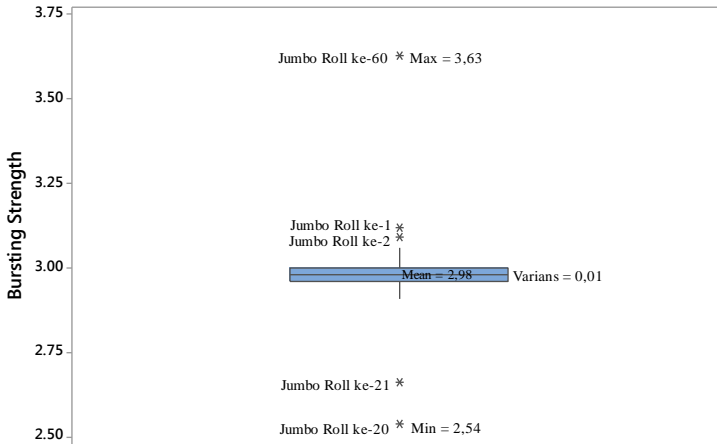
Tahap ini dilakukan untuk mengendalikan proses produksi kertas *Test Liner 150 GSM* yang belum stabil pada fase I dengan menerapkan usulan perbaikan pada tahap *improve*. Hasil penerapan usulan berupa analisis produksi kertas pada fase II yang dilakukan dengan melakukan uji perbedaan rata-rata hasil

produksi fase I dan fase II yang dilanjutkan dengan melakukan analisis kapabilitas proses hingga penentuan level sigma. Sebelum melakukan pengukuran terlebih dahulu mendeskripsikan karakteristik kertas *Test Liner* 150 GSM fase II yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.17.



Gambar 4.13 *Boxplot Basic Weight Kertas Test Liner 150 GSM Fase II*

Rata-rata *basic weight* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 sebesar 148,18 gram/m² dengan nilai minimum sebesar 141 gram/m² dan nilai maksimum sebesar 160,6 gram/m². Rata-rata *basic weight* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 146 sampai 154 gram/m², sedangkan nilai minimum dan maksimum *basic weight* berada di luar batas spesifikasi. Keragaman dari *basic weight* kertas *Test Liner* 150 GSM sangat besar yaitu 12,64 yang menunjukkan bahwa antara data *basic weight* satu dengan lainnya terpaut sangat jauh, serta terdapat dua observasi yang *outlier* yaitu pada jumbo roll ke-21 dan ke-22.

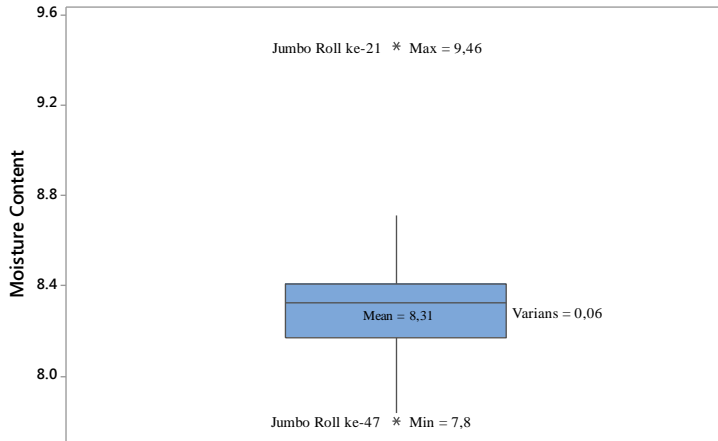


Gambar 4.14 Boxplot *Bursting Strength* Kertas *Test Liner* 150 GSM Fase II

Gambar 4.14 menunjukkan rata-rata *bursting strength* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II sebesar 2,98 Kgf/cm² dengan nilai minimum sebesar 2,54 Kgf/cm² dan nilai maksimum sebesar 3,63 Kgf/cm². Rata-rata *bursting strength* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 2,9 sampai 3 Kgf/cm², sedangkan nilai minimum dan maksimum *bursting strength* berada di luar batas spesifikasi. Keragaman dari *bursting strength* kertas *Test Liner* 150 GSM paling kecil daripada keragaman dari karakteristik kualitas lain, yaitu sebesar 0,01 yang menunjukkan bahwa antara data *bursting strength* satu dengan lainnya tidak terputus jauh, namun terdapat banyak observasi yang *outlier* yaitu pada jumbo roll ke-1, 2, 20, 21, dan ke-60 yang menyebabkan proses tidak stabil.

Moisture content pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 memiliki rata-rata sebesar 8,31% dengan nilai minimum sebesar 7,8% dan nilai maksimum sebesar 9,46%. Rata-rata *moisture content* masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 8% sampai 9%, sedangkan nilai minimum dan maksimum *moisture content* berada di luar batas spesifikasi. Keragaman dari *moisture content* kertas *Test Liner* 150 GSM sangat kecil, yaitu sebesar 0,06 yang menunjukkan

bahwa antara data *moisture content* satu dengan lainnya tidak terpaut jauh, namun masih terdapat dua observasi yang *outlier* yaitu pada jumbo roll ke-21 dan ke-47.

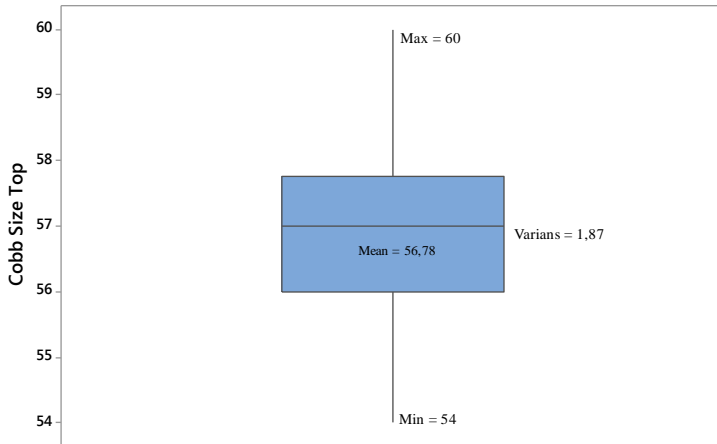


Gambar 4.15 Boxplot *Moisture Content* Kertas *Test Liner* 150 GSM Fase II

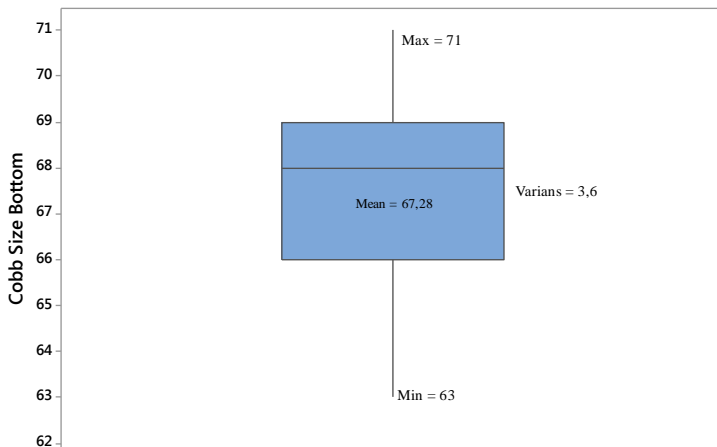
Rata-rata *cobb size top* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 sebesar 56,78 gram/m² dimana nilai tersebut masih berada dalam batas spesifikasi sebesar 50 sampai 80 Kgf/cm². Begitu pula pada nilai minimumnya sebesar 54 Kgf/cm² dan nilai maksimum sebesar 60 Kgf/cm². Keragaman dari *cobb size top* kertas *Test Liner* 150 GSM cukup kecil, yaitu sebesar 1,87 yang menunjukkan bahwa antara data *cobb size top* satu dengan lainnya tidak terpaut cukup jauh, serta tidak terdapat observasi yang *outlier*.

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa rata-rata *cobb size bottom* pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II sebesar 67,28 gram/m² dimana nilai tersebut masih berada di dalam batas spesifikasi sebesar 50 sampai 80 gram/m². Begitu pula pada nilai minimumnya sebesar 63 gram/m² dan nilai maksimum sebesar 71 gram/m². Keragaman dari *cobb size bottom* kertas *Test Liner* 150 GSM cukup besar daripada keragaman dari karakteristik kualitas lainnya, yaitu sebesar 3,6 yang menunjukkan bahwa antara data

cobb size bottom satu dengan lainnya terpaut jauh, namun tidak terdapat observasi atau jumbo roll yang *outlier*.



Gambar 4.16 *Boxplot Cobb Size Top Kertas Test Liner 150 GSM Fase II*



Gambar 4.17 *Boxplot Cobb Size Bottom Kertas Test Liner 150 GSM Fase II*

4.5.1 Uji Perbedaan Rata-Rata Fase I dengan Fase II

Sebelum melakukan uji perbedaan rata-rata, terlebih dahulu dilakukan uji homogenitas matriks varians kovarians untuk mengetahui apakah antara fase I dan fase II bersifat homogen atau tidak yang dinyatakan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma$ (Matriks varians kovarians fase I dan fase II homogen)

$H_1 : \text{Minimal ada satu } \Sigma_l \neq \Sigma_k, \text{ dimana } l, k = 1 \text{ dan } 2$ (Matriks varians kovarians fase I dan fase II tidak homogen)

Diperoleh nilai statistik uji C sebesar 185,432 berdasarkan persamaan (2.27) yang mengacu pada Lampiran 10 dimana nilai tersebut lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;15}$ sebesar 24,996 dan diperkuat dengan nilai P_{value} sebesar 0,000 yang lebih kecil dari taraf signifikansi sebesar 0,05 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak yang artinya matriks varians kovarians pada fase I dan fase II tidak homogen, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji perbedaan rata-rata pada fase I dan fase II untuk membandingkan kedua fase berdasarkan vektor rata-rata. Hipotesis yang digunakan untuk melakukan uji perbedaan rata-rata dengan asumsi matriks varians kovarians homogen adalah sebagai berikut.

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (Rata-rata karakteristik kualitas fase I dan fase II sama)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (Rata-rata karakteristik kualitas fase I dan fase II berbeda)

Berdasarkan persamaan (2.31) yang mengacu pada Lampiran 11 diperoleh nilai statistik uji T sebesar 60,0706 dimana nilai tersebut lebih besar daripada $\chi^2_{0,05;5}$ sebesar 11,0705 pada taraf signifikan 5% sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak yang artinya rata-rata karakteristik kualitas fase I dan fase II berbeda atau terjadi pergeseran proses setelah dilakukan perbaikan.

4.5.2 Analisis Kapabilitas Proses Produksi Kertas *Test Liner* 150 GSM Fase II

Analisis kapabilitas proses produksi pada kertas *Test Liner* 150 GSM dilakukan untuk mengetahui sejauh mana proses produksi berada dalam pengendalian dengan menggunakan peta kendali M dan T^2 *Hotelling*. Terdapat asumsi yang dipenuhi untuk membuat peta kendali, di antaranya adalah dependensi antar karakteristik kualitas dan normal multivariat.

a. Dependensi Fase II

Untuk mengetahui apakah variabel-variabel *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size top*, dan *cobb size bottom* dependen atau tidak maka digunakan metode *Bartlett* dengan hipotesis sebagai berikut.

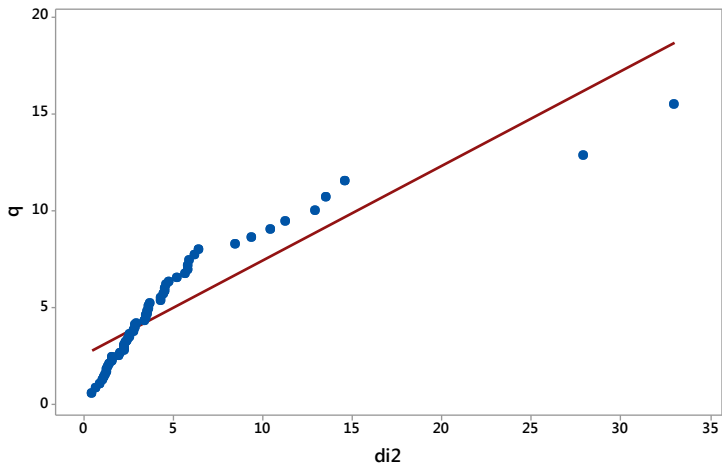
$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (Kelima karakteristik kualitas saling independen)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (Kelima karakteristik kualitas saling dependen)

Dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan merujuk pada Lampiran 2B diperoleh statistik uji *chi-square* sebesar 53,847. Nilai *chi-square* tersebut lebih besar daripada *chi-square* tabel pada taraf signifikan 5% sebesar 18,307 dan diperkuat dengan *P-value* sebesar 0,000 di mana kurang dari taraf signifikan sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak yang artinya kelima karakteristik kualitas, yaitu *basic weight*, *bursting strength*, *moisture content*, *cobb size top*, dan *cobb size bottom* saling dependen.

b. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase II

Pemeriksaan distribusi normal multivariat digunakan untuk mengetahui apakah hasil proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM telah berdistribusi normal multivariat atau tidak. Variabel-variabel dikatakan berdistribusi normal multivariat dengan melihat nilai proporsi yang diperoleh berdasarkan Persamaan (2.5) serta menggunakan *syntax* pada Lampiran 3A pada data yang merujuk pada Lampiran 1B.

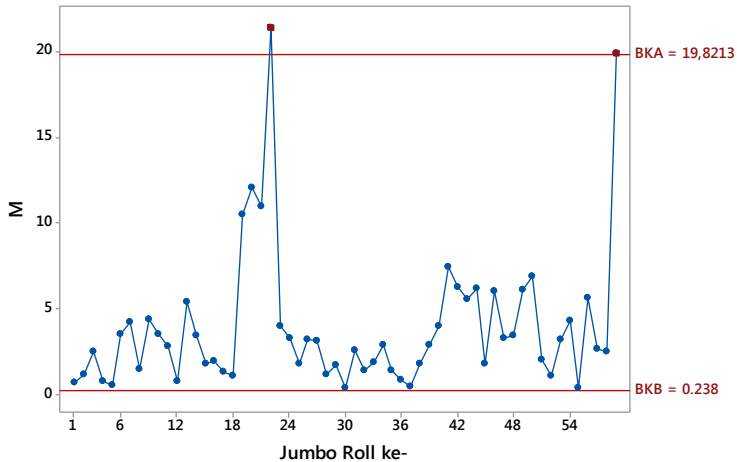


Gambar 4.18 Chi-Square Plot Kertas Test Liner 150 GSM Fase II

Berdasarkan Gambar 4.18, secara visual titik-titik yang terbentuk, mengikuti pola persebaran normal multivariat. Diperoleh nilai proporsi sebesar 0,65 yang merujuk pada Lampiran 3C di mana nilai tersebut lebih dari 50% sehingga dapat dikatakan bahwa hasil proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II berdistribusi normal multivariat.

c. Peta Kendali M Fase II

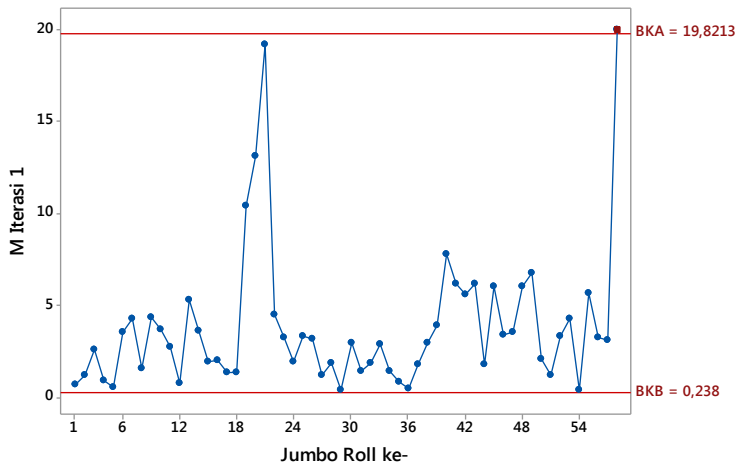
Peta kendali M digunakan untuk melihat apakah variabilitas proses telah terkendali secara statistik atau tidak. Hasil monitoring variabilitas proses dari data yang merujuk pada Lampiran 1B menggunakan *syntax* pada Lampiran 4A ditunjukkan pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 Peta Kendali M Fase II

Titik-titik pada peta kendali M yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.10) dan ditunjukkan pada Lampiran 4C menunjukkan bahwa terdapat dua observasi yang berada di atas Batas Kendali Atas (BKA) yaitu pada observasi ke-22 dan 59, dengan nilai BKA sebesar 19,8213. Tidak terdapat observasi yang berada di luar Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0,2380. Observasi pada jumbo roll ke-22 berada di luar BKA karena formasi top mengelupas sedangkan pada jumbo roll ke-59 terjadi pergantian produksi kertas dari *Test Liner* 150 GSM menjadi *Test Liner A* 150 GSM sehingga membuat variabilitas proses produksi kertas pada fase II tidak terkendali secara statistik.

Penyebab pada observasi ke-59 merupakan penyebab umum (*common causes*) sehingga tidak perlu dilakukan eliminasi pada jumbo roll tersebut, namun tetap dilakukan eliminasi pada jumbo roll ke-22 karena merupakan penyebab khusus (*special causes*). Berikut merupakan peta kendali M fase 2 pada iterasi pertama.

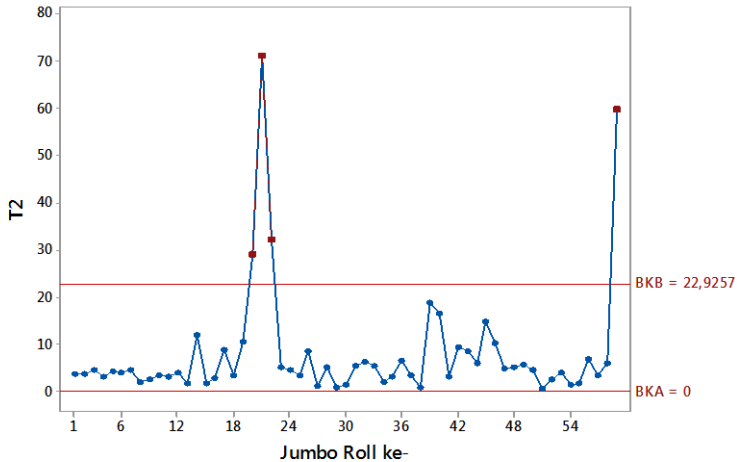


Gambar 4.20 Peta Kendali M Fase II Iterasi 1

Setelah dilakukan eliminasi pada jumbo roll ke-22, diperoleh titik-titik pada peta kendali M yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.10) dan ditunjukkan pada Lampiran 4D menunjukkan bahwa masih terdapat satu observasi yang berada di atas Batas Kendali Atas (BKA) yaitu pada observasi ke-58, dengan nilai BKA sebesar 19,8213. Tidak terdapat observasi yang berada di luar Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0,2380. Observasi pada jumbo roll ke-58 disebabkan oleh pergantian produksi kertas dari *Test Liner* dari 150 GSM menjadi *Test Liner A* 150 GSM yang merupakan penyebab umum di perusahaan sehingga tidak perlu dilakukan eliminasi pada jumbo roll tersebut, sehingga variabilitas proses sudah terkendali secara statistik.

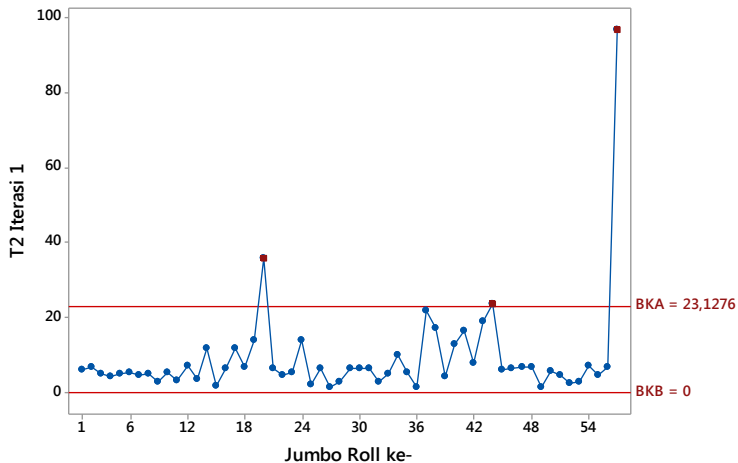
d. Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase II

Peta kendali T^2 Hotelling individu digunakan untuk melihat apakah rata-rata proses telah terkendali secara statistik atau tidak. Hasil monitoring rata-rata proses dari data yang merujuk pada Lampiran 1B menggunakan *syntax* pada Lampiran 5D ditunjukkan pada Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4.21 Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase II

Titik-titik pada peta kendali T^2 Hotelling individu dihasilkan berdasarkan persamaan (2.13) dan ditunjukkan pada Lampiran 5E. Terdapat empat observasi pada jumbo roll yang berada di atas Batas Kendali Atas (BKA) sebesar 16,4404 dan tidak ada observasi yang berada di bawah Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0. Empat observasi tersebut berada pada jumbo roll ke-20, 21, 22, dan 59. Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, penyebab pengamatan *out of control* pada jumbo roll ke-20 dan 21 disebabkan oleh formasi top mengelupas. Jumbo roll ke-59 terjadi pergantian produksi kertas dari *Test Liner* 150 GSM menjadi *Test Liner A* 150 GSM sedangkan pada jumbo roll ke-22 penyebab terjadinya *out of control* tidak diketahui sehingga rata-rata proses produksi pada fase II tidak terkendali secara statistik. Penyebab pada observasi ke-59 merupakan penyebab umum (*common causes*) dan pada jumbo roll ke-22 merupakan *random causes* sehingga tidak perlu dilakukan eliminasi pada jumbo roll tersebut, namun tetap dilakukan eliminasi pada jumbo roll ke-20 dan 21 karena merupakan penyebab khusus (*special causes*).



Gambar 4.22 Peta Kendali T^2 Hotelling Individu Fase II Iterasi 1

Pembuatan peta kendali T^2 Hotelling individu baru pada iterasi pertama dengan hasil seperti pada Lampiran 5F menghasilkan nilai Batas Kendali Atas (BKA) sebesar 22,9257 dan Batas Kendali Bawah (BKB) sebesar 0. Terdapat tiga pengamatan yang berada di luar BKA, yaitu pada jumbo roll ke-20, 44, dan 57. Terjadi penyebab umum pada jumbo roll ke-57 karena pergantian produksi kertas dari *Test Liner* 150 GSM menjadi *Test Liner A* 150 GSM, sedangkan pada jumbo roll ke-20 dan 44 tidak diketahui penyebab terjadinya *out of control* sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata proses pada fase II telah terkendali secara statistik.

e. Indeks Kapabilitas Proses Fase II

Setelah dilakukan analisis kapabilitas proses pada kertas *Test Liner* 150 GSM fase II, kemudian dilakukan perhitungan indeks kapabilitas proses untuk mengetahui apakah hasil proses produksi telah kapabel atau tidak. Indeks yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses produksi dalam penelitian ini yaitu MP_p dan MP_{pk} karena proses tidak terkendali secara statistik.

Perhitungan indeks kapabilitas proses dilakukan secara multivariat dengan menghitung bersama-sama untuk seluruh

karakteristik kualitas. Hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara multivariat merujuk pada Lampiran 6B yang mengacu pada persamaan (2.22) dan (2.23) sebagai berikut.

$$MP_p = \sqrt[5]{0,48 \times 0,18 \times 0,89 \times 3,63 \times 3,44} = 0,9919$$

$$MP_{pk} = \sqrt[5]{0,21 \times 0,02 \times 0,50 \times 1,65 \times 1,26} = 0,3373$$

Berdasarkan hasil perhitungan secara multivariat diperoleh nilai MP_p sebesar 0,9919 dan nilai MP_{pk} sebesar 0,3373 di mana kedua nilai tersebut kurang dari 1 yang menandakan bahwa proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II secara multivariat tidak presisi dan tidak akurat. Selain itu, nilai MP_{pk} lebih kecil daripada MP_p sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II secara multivariat tidak mencapai kapabilitas potensial. Nilai MP_p dan MP_{pk} pada fase II mengalami penurunan dari nilai MP_p dan MP_{pk} fase I karena perusahaan tidak melakukan perbaikan dengan optimal dimana masih terdapat operator terutama pada Departemen Produksi yang tidak mematuhi SOP.

4.5.3 Level Sigma Fase II

Penentuan level sigma bertujuan untuk mengetahui seberapa baik kinerja perusahaan dalam membuat atau memproduksi suatu produk. Perusahaan tentu menginginkan produk dengan level sigma sebesar 6σ yang artinya hanya terdapat 3 atau 4 cacat pada 1 juta produk dalam sekali proses produksi.

Level sigma dihitung berdasarkan jumlah *defect* dari keseluruhan produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II, kemudian berdasarkan persamaan (2.24) jumlah *defect* tersebut dibagi dengan perkalian antara banyaknya pengamatan dengan karakteristik kualitas produk sehingga diperoleh nilai DPO sebesar 0,101754. Berdasarkan persamaan (2.25) nilai DPO dikalikan dengan 1 juta produk sehingga diperoleh nilai DPMO sebesar 101754 yang artinya terdapat 101754 unit produk cacat dari 1 juta produk dalam sekali produksi sehingga berdasarkan Lampiran 7B diperoleh level sigma pada proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II yang mengacu pada tabel konversi Lampiran 8 sebesar $2,77\sigma$. Level sigma yang dihasilkan pada

fase II masih jauh berbeda dengan level sigma yang diinginkan perusahaan dan mengalami penurunan dari level sigma pada hasil produksi fase I.

4.5.4 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control* Fase II

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari tahap *Measure* terdapat variabel atau karakteristik kualitas yang *out of control* pada produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II. Untuk mengetahui karakteristik kualitas dominan penyebab *out of control* dapat dilakukan dengan identifikasi penyebab *out of control* menggunakan metode dekomposisi statistik T^2 . Identifikasi dilakukan berdasarkan persamaan (2.26) sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

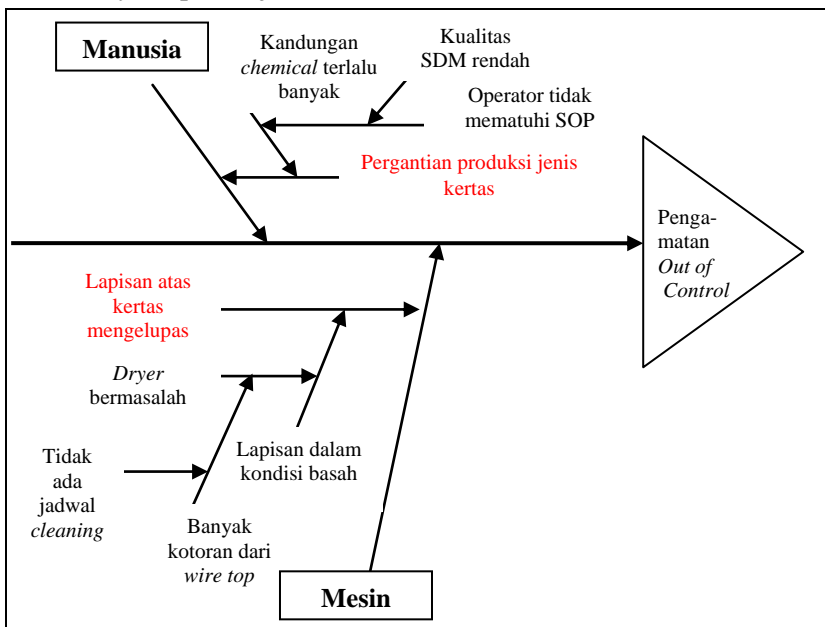
Tabel 4.3 Identifikasi Variabel Penyebab *Out of Control* Fase II

Jumbo Roll ke-	d_j					Variabel Penyebab <i>Out of Control</i>
	BW	BS	MC	CST	CSB	
20	27,14	20,99	28,94	20,24	21,04	Semua
44	27,52	25,77	28,16	26,05	26,17	Semua
57	-18,57	30,55	-10,32	-10,17	-10,74	BS

Nilai statistik uji T^2 yang diperoleh dari perhitungan peta kendali T^2 Hotelling pada tahap *Measure* dibandingkan dengan nilai *Chi-Square* sebesar 3,84. Karakteristik kualitas dikatakan menjadi penyebab *out of control* ketika nilai d_j lebih besar daripada *Chi-Square* yang ditunjukkan pada nilai d_j dengan penulisan tebal. Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh hasil perhitungan pada jumbo roll ke-20 dan 44 yang menunjukkan bahwa nilai d_j pada semua karakteristik kualitas lebih dari nilai *Chi-Square* sebesar 3,84 yang artinya semua variabel kualitas menjadi penyebab terjadinya ketidakstabilan rata-rata proses pada jumbo roll tersebut. Variabel penyebab terjadinya cacat pada jumbo roll ke-57 adalah *bursting strength* sehingga kertas *Test Liner* 150 GSM di fase II perlu dilakukan penelurusan sebab akibat terjadinya pengamatan yang *out of control*.

4.5.5 Faktor Penyebab *Out of Control* Fase II

Faktor penyebab *out of control* pada produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II dapat ditelusuri menggunakan diagram *Ishikawa* dengan 4M + 1L. Identifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.23 berikut dilakukan sebagai evaluasi bagi perusahaan untuk lebih memperhatikan faktor-faktor penyebab ketidakstabilan proses sehingga diharapkan proses pada fase berikutnya dapat berjalan lebih baik.



Gambar 4.23 Diagram *Ishikawa* Fase II

Penyebab terjadinya variabel yang *out of control* pada proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase II disebabkan oleh faktor mesin dan manusia. Lapisan atas kertas mengelupas karena kertas dalam kondisi basah. Hal itu disebabkan karena mesin pengering kertas bermasalah karena banyaknya kotoran dari *wire top* yang menyumbat. Kotoran-kotoran tersebut menumpuk karena tidak ada jadwal *cleaning*, akibatnya mesin jarang dibersihkan. Selain itu, pergantian produksi kertas dari *Test Liner* 150 GSM ke *Test Liner* A 150 GSM membuat

terjadinya variabel *out of control* karena terlalu banyak *chemical* yang digunakan karena kesalahan dari operator yang tidak mematuhi SOP.

Berdasarkan informasi yang diperoleh dari pihak perusahaan, kualitas SDM di PT. Mekabox International cenderung rendah karena latar belakang pendidikan sehingga SDM terutama operator sering tidak mematuhi SOP. Selain itu, operator juga belum pernah mendapatkan pelatihan manajemen mutu terutama *seven tools* sehingga masih belum terlatih untuk menyelesaikan permasalahan sampai ke akar permasalahan. Hal itulah yang menjadi penghambat dalam menerapkan usulan perbaikan sehingga pada fase II terjadi penurunan level sigma.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. a. Proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I telah presisi namun memiliki akurasi yang tidak baik sehingga proses produksi tetap dikatakan tidak kapabel.
b. Proses produksi pada fase II mengalami penurunan kualitas karena tidak presisi dan tidak akurat, sehingga tidak kapabel.
2. a. Proses produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I menghasilkan level sigma sebesar $3,06\sigma$.
b. Proses produksi pada fase II mengalami penurunan level sigma menjadi $2,77\sigma$ di mana masih tergolong jauh dari level 6σ .
3. a. Tingginya *defect* yang dihasilkan pada produksi kertas *Test Liner* 150 GSM fase I disebabkan karena faktor manusia karena pergantian *shift* sehingga berpengaruh terhadap ketelitian inspektor dan faktor mesin yaitu banyak kotoran pada mesin *dryer* sehingga membuat kertas putus saat proses produksi. Selain itu juga terjadi masalah pada mesin *headbox* dan *conveyor top*.
b. Penurunan kualitas pada fase II terjadi karena lapisan atas kertas dalam kondisi basah akibat banyak kotoran pada mesin *wire top*, serta terjadinya pergantian produksi jenis kertas.
4. Usulan perbaikan yang dilakukan oleh PT. Mekabox International yaitu melakukan kalibrasi *headbox* dan *pit press*.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk PT. Mekabox International yaitu melakukan tes ulang untuk memastikan apakah turunnya kualitas berasal dari kesalahan pengukuran oleh inspektor atau dari kesalahan proses produksi, memberikan pelatihan manajemen

mutu pada SDM khususnya pada departemen produksi, serta menerapkan usulan-usulan perbaikan lain agar kualitas hasil proses produksi tidak menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Gaspersz, V. (2002). *Pedoman Implementasi Program Six Sigma*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Gaspersz, V. (2007). *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. (2007). *Applied Multivariat Statistical Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Khoo, M. B., & Quah, S. H. (2003). *Multivariate Control Chart For Process Dispersion Based On Individual Observatons* (Vol. 15). Penang, Malaysia: University Sains Malaysia.
- Montgomery, D. C. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control Seventh Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.,.
- Morisson, D. F. (2005). *Multivariat Statistical Methods*. Aukland: Mac Graw Hill.
- Rencher, A. R. (2002). *Methods of Multivariate Analysis 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Saputri, N. F. (2018). *Measurement System Analysis Repeatability and Reproducibility (Gauge R&R) pada Kertas Test Liner di PT. Mekabox International Mojokerto*. Surabaya: Departemen Statistika Bisnis ITS.
- Werner, L. (2011). *Desempenho de Indices de Capacidade de Processos Multivariados: Uma Comparacao de Indices Via Simulacao*. Porto Alegre: Roberto de France Moreira Junior.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM

Lampiran 1A Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase I

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
1	153	2,93	9,02	59	70	<i>Defect</i>	<i>Moisture tinggi</i>
2	150,1	2,9	9,06	57	68	<i>Defect</i>	<i>Moisture tinggi</i>
3	149,2	2,94	8,78	55	66		
4	148,3	2,93	8,71	58	69		
5	149,6	2,91	8,95	56	68		
6	150,9	2,94	8,55	56	67		
7	150,4	2,95	8,23	57	69		
8	147,6	2,92	8,09	59	70		
9	151,8	2,96	8,45	56	68		
10	147,9	2,93	8,65	58	69		
11	151,9	2,97	8,68	55	67		
12	151,3	2,95	8,78	57	68		
13	149,6	2,91	8,86	57	63		
14	147,7	2,9	8,69	59	70		
15	148,9	2,88	8,66	57	68	<i>Defect</i>	
16	154,4	2,9	8,87	58	71	<i>Defect</i>	
17	155,5	2,96	8,9	59	67	<i>Defect</i>	
18	151,1	2,96	8,59	58	71		
19	148	2,94	8,54	57	74		Kertas putus
20	150,4	2,96	8,5	59	71		
21	147,5	2,92	8,65	57	68		

Lampiran 1A Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase I (Lanjutan)

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
22	153,2	2,94	8,9	59	71		
23	152,3	2,91	8,99	57	64		
24	154	2,9	8,84	57	69		
25	150,2	2,88	8,62	61	74	<i>Defect</i>	
26	154,2	2,88	8,85	57	71	<i>Defect</i>	
27	152,5	2,9	8,74	56	67		
28	150,8	2,93	8,59	59	68		
29	150,6	2,92	8,69	57	69		
30	153,6	2,92	8,57	59	68		
31	152,1	2,92	8,57	57	68		
32	149,5	2,95	7,85	54	66	<i>Defect</i>	Kertas putus
33	148,3	2,91	8,76	56	68		
34	152,5	2,93	8,16	55	66		
35	151,5	2,92	8,38	57	64		
36	154,4	2,93	8,84	56	66	<i>Defect</i>	
37	156,3	2,98	8,64	58	69	<i>Defect</i>	
38	152,9	2,97	8,79	55	67		
39	154,9	2,96	8,5	57	64	<i>Defect</i>	
40	154,8	2,97	8,31	56	66	<i>Defect</i>	
41	152,7	2,92	8,09	56	66		
42	149,8	2,91	8,48	54	67		
43	149,9	2,95	8,17	57	65		
44	149,3	2,96	7,95	55	66	<i>Defect</i>	
45	154,4	2,92	8,33	58	65	<i>Defect</i>	
46	152,7	2,94	8,01	56	67		
47	153,1	2,96	7,69	54	65	<i>Defect</i>	

Lampiran 1A Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase I (Lanjutan)

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
48	153,1	2,95	7,63	57	60	<i>Defect</i>	
49	149,6	2,96	7,9	58	69	<i>Defect</i>	
50	153	2,94	7,94	56	66	<i>Defect</i>	
51	152,5	2,95	8,49	55	65		
52	150,7	2,92	8,8	57	64		<i>Tensile macet</i>
53	151,5	2,93	8,17	56	66		
54	151,2	2,93	8,11	55	68		
55	152,8	2,96	8,54	57	63		
56	150,2	2,94	8,43	56	65		
57	153,2	2,93	8,88	57	67		
58	152,5	2,94	9	55	64		
59	151,7	2,92	8,71	54	65		
60	157,9	2,91	8,26	57	65	<i>Defect</i>	
61	151,8	2,91	8,3	58	66		
62	151,1	2,92	8,26	56	63		
63	148,1	2,95	8,59	56	67		<i>Trouble Conv. Top</i>
64	150,9	2,92	8,65	59	66		
<i>Total Defect</i>						19 Jumbo Roll	

Lampiran 1B Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase II

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
1	150,2	3,12	8,41	56	67	<i>Defect</i>	
2	150,8	3,09	8,52	57	67	<i>Defect</i>	
3	150	3,06	8,41	59	68	<i>Defect</i>	
4	147,6	3,01	8,45	57	69	<i>Defect</i>	
5	144,4	2,96	8,34	56	68	<i>Defect</i>	
6	143,2	2,91	8,2	57	69		
7	147	2,98	8,38	59	68		<i>Coppling slop</i>
8	150,5	2,98	8,45	56	68		
9	147,3	2,97	8,24	58	70		
10	149,9	2,99	8,45	55	65		
11	145,2	2,96	8,34	57	69	<i>Defect</i>	
12	144,1	2,95	8,02	56	66	<i>Defect</i>	
13	144,8	2,97	8,1	57	68	<i>Defect</i>	
14	144,6	2,98	8,38	60	70	<i>Defect</i>	
15	147,5	3,02	8,21	58	69	<i>Defect</i>	
16	144,5	3,05	8,17	56	67	<i>Defect</i>	
17	148,4	2,96	8,54	54	66		
18	149,7	3	8,53	56	68		
19	146,2	3,01	8,55	55	67	<i>Defect</i>	
20	143,3	2,91	8,71	54	65	<i>Defect</i>	
21	148	2,98	8,44	55	64	<i>Defect</i>	
22	145,8	2,96	8,41	58	67		
23	149,1	3	8,49	56	65		
24	152,8	3,02	8,52	54	66		
25	149,3	3	8,36	57	69		Kertas Putus

Lampiran 1B Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase II (Lanjutan)

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
26	149,6	2,98	8,26	59	70		Kertas Putus
27	146,3	2,96	8,17	57	68		
28	145,1	2,96	8,14	56	67	<i>Defect</i>	
29	150,5	2,99	8,19	58	69		
30	149,7	3	8,1	57	66		
31	150,1	2,98	8,24	59	68		
32	150	2,98	8,26	56	67		
33	151	2,99	8,31	58	69		
34	150	2,95	8,34	59	71		
35	148,8	2,94	8,28	58	70		
36	147,7	2,95	8,23	56	67		
37	148,7	3,01	7,84	57	69	<i>Defect</i>	
38	150,7	2,98	8	56	64		
39	145,6	3,02	8,13	56	69	<i>Defect</i>	
40	146,2	3,04	8	57	64	<i>Defect</i>	
41	142,5	2,96	7,86	56	68	<i>Defect</i>	
42	145	2,97	8,11	59	67	<i>Defect</i>	
43	145	2,96	8	59	64	<i>Defect</i>	
44	141	2,97	7,8	57	67	<i>Defect</i>	
45	145,6	2,94	8,15	59	68	<i>Defect</i>	
46	148,6	2,96	8,1	57	69		
47	151,8	3,01	8,37	57	64	<i>Defect</i>	
48	150,7	2,96	8,29	56	69		
49	149	3,01	8,39	57	68	<i>Defect</i>	
50	151,7	2,97	8,39	56	67		
51	148,4	2,93	8,31	57	64		

Lampiran 1B Data Hasil Pengukuran Kualitas Kertas *Test Liner*
150 GSM Fase II (Lanjutan)

<i>Jumbo Roll</i>	<i>Basic Weight</i>	<i>Bursting Strength</i>	<i>Moisture Content</i>	<i>Cobb Size Top</i>	<i>Cobb Size Bottom</i>	<i>Defect</i>	Ket.
52	147,6	2,94	8,36	56	68		
53	148	2,96	8,4	57	69		
54	145,3	2,92	8,3	56	63	<i>Defect</i>	
55	151,6	3	8,36	56	65		
56	145	2,96	8,31	55	64	<i>Defect</i>	
57	153,2	3,63	8,36	57	69	<i>Defect</i>	Pergantian TL 150 GSM ke TL A 150 GSM
<i>Total Defect</i>						29 Jumbo Roll	

Lampiran 2 *Output Uji Dependensi***Lampiran 2A** *Output Uji Dependensi Fase I*

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.501
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	39.330
	df	10
	Sig.	.000

Lampiran 2B *Output Uji Dependensi Fase II*

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.449
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	53.847
	df	10
	Sig.	.000

Lampiran 3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat
Lampiran 3A *Syntax* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

```

Macro
NormalMultivariate X.1-X.p q di2
MConstant i j m p Prop Tengah
MColumn x.1-x.p xj Kali d di2 q Prob
MMatrix MCova MCovaI xjxbar
####Mendapatkan Nilai di2####
    let m=count(x.1)
    Covariance X.1-X.p MCova
    invers MCova MCovaI
    do i=1:m
        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 di2(i)=sum(d)
    enddo
    sort di2 di2
####Mendapatkan Nilai q####
    do i=1:m
        let Prob(i)=1-(m-i+0.5)/m
    enddo
    INVCDF Prob q;
    Chisquare p.
####Plot di2 dengan q####
    plot q*di2;
    symbol.
####Menghitung Proporsi####
    INVCDF 0.5 Tengah;
    Chisquare p.
    let Prop=0
    do i=1:m
        if di2(i)<=Tengah
            let Prop=Prop+1
        endif
    enddo

```

Lampiran 3A *Syntax* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat (Lanjutan)

```

let Prop=Prop/m
print Prop
###Menghitung Korelasi###
corr q di2
name q 'q'
name di2 'di2'
endmacro

```

Lampiran 3B *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat Fase I

Data Display

Prop 0.626866

Correlation: C6, C7

Pearson correlation of C6 and C7 = 0.972
P-Value = 0.000

Jumbo Roll ke-	q	d _i	Jumbo Roll ke-	q	d _i
1	0,4885	0,5151	12	2,1477	2,3283
2	0,7909	0,5677	13	2,2510	2,5354
3	0,9985	0,9132	14	2,3526	2,7190
4	1,1696	1,3662	15	2,4528	2,7501
5	1,3202	1,4257	16	2,5519	2,7806
6	1,4576	1,4452	17	2,6502	2,9627
7	1,5856	1,5148	18	2,7478	2,9642
8	1,7067	1,5368	19	2,8449	3,0647
9	1,8224	1,6163	20	2,9418	3,1670
10	1,9339	1,9305	21	3,0386	3,1919
11	2,0421	2,1445	22	3,1355	3,2191

Lampiran 3B *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat
Fase I (Lanjutan)

Jumbo Roll ke-	q	d _i	Jumbo Roll ke-	q	d _i
23	3,2326	3,2375	46	5,8519	4,9305
24	3,3300	3,2404	47	6,0026	4,9680
25	3,4279	3,2870	48	6,1591	4,9800
26	3,5264	3,3674	49	6,3222	5,0592
27	3,6256	3,4718	50	6,4926	5,1257
28	3,7256	3,5050	51	6,6711	5,4289
29	3,8267	3,5424	52	6,8590	5,5894
30	3,9289	3,6197	53	7,0572	5,9644
31	4,0323	3,6428	54	7,2675	6,6678
32	4,1371	3,6651	55	7,4916	6,9432
33	4,2434	3,7529	56	7,7319	7,1015
34	4,3515	3,8202	57	7,9913	7,5065
35	4,4613	3,8580	58	8,2735	8,2408
36	4,5732	3,9355	59	8,5837	8,3963
37	4,6873	3,9362	60	8,9287	10,3707
38	4,8037	3,9864	61	9,3185	11,4128
39	4,9228	4,0104	62	9,7678	11,8219
40	5,0447	4,1407	63	10,3001	12,0927
41	5,1697	4,2567	64	10,9570	13,9028
42	5,2981	4,3124	65	11,8218	14,7155
43	5,4301	4,6463	66	13,1079	14,9622
44	5,5662	4,6617	67	15,7923	18,3358
45	5,7066	4,9281			

Lampiran 3C Output Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat
Fase II

Data Display

Prop 0.650000

Correlation: C6, C7

Pearson correlation of C6 and C7 = 0.902

P-Value = 0.000

Jumbo Roll ke-	q	d _i	Jumbo Roll ke-	q	d _i
1	0.51228	0.38205	20	3.16217	2.33047
2	0.83121	0.62543	21	3.27068	2.37573
3	1.05118	0.82750	22	3.37968	2.41674
4	1.23306	0.99556	23	3.48935	2.48296
5	1.39371	1.05605	24	3.59987	2.50860
6	1.54064	1.16053	25	3.71141	2.74159
7	1.67794	1.20049	26	3.82416	2.75541
8	1.80817	1.22392	27	3.93830	2.83004
9	1.93302	1.27003	28	4.05401	2.84959
10	2.05369	1.35801	29	4.17148	2.89462
11	2.17109	1.50086	30	4.29093	3.37480
12	2.28592	1.53026	31	4.41256	3.40688
13	2.39871	1.57084	32	4.53661	3.45149
14	2.50992	1.92274	33	4.66332	3.48148
15	2.61994	1.99890	34	4.79296	3.52567
16	2.72908	2.18227	35	4.92582	3.57424
17	2.83764	2.19942	36	5.06223	3.59154
18	2.94585	2.23768	37	5.20253	3.66383
19	3.05396	2.24456	38	5.34713	4.28199

Lampiran 3C *Output* Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat
Fase II (Lanjutan)

Jumbo Roll ke-	q	d _i	Jumbo Roll ke-	q	d _i
39	5.49647	4.29577	50	7.6763	6.1640
40	5.65105	4.42918	51	7.9622	6.3798
41	5.81145	4.51882	52	8.2760	8.4208
42	5.97833	4.52240	53	8.6248	9.3275
43	6.15245	4.53541	54	9.0184	10.3874
44	6.33470	4.71817	55	9.4717	11.2603
45	6.52613	5.16420	56	10.0083	12.8739
46	6.72801	5.65373	57	10.6699	13.4813
47	6.94186	5.76194	58	11.5399	14.5475
48	7.16954	5.76467	59	12.8325	27.9053
49	7.41338	5.87965	60	15.5268	32.9835

Lampiran 4 Peta Kendali M**Lampiran 4A** *Syntax* Matlab Peta Kendali M

```

clc;
clear all;

%Peta Kendali M
data=importdata('D:\PetaMFase1.xlsx')
alpha=input('masukkan nilai alpha: ')
[m,p]=size(data);

%Menghitung Matriks Kovarians
S=cov(data);

% Menghitung Successive Difference
n=m-1;
for i=1:n
for j=1:p
k=i+1;
V(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
end
end

% Menghitung Nilai Statistik M
inv_S=inv(S);
Vt=V.';
for j=1:n
M(j,1)=(1/2)*V(j,:)*inv_S*Vt(:,j);
end

% Menghitung Batas Kendali
ucl=chi2inv(1-(alpha/2),p);
lcl=chi2inv(alpha/2,p);

%Membuat Peta Kendali
for j=1:n
bka(j,1)=ucl;
end

```

Lampiran 4A *Syntax* Matlab Peta Kendali M (Lanjutan)

```

for j=1:n
bkb(j,1)=lcl;
end
x=1:n
y=M
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-')
title('Peta Kendali M Fase I')
xlabel('Observasi ke-')
ylabel('M')
text(k,ucl,'BKA')
text(k,lcl,'BKB')

%Jumlah Observasi Yang Keluar
for j=1:n
if(M(j,1)>ucl)|(M(j,1)<lcl)
o(j,1)=j; else o(j,1)=0
end;
end;
obs=sum(o)

%Observasi Yang Keluar
for j=1:n
if(M(j,1)>ucl)|(M(j,1)<lcl)
obs(j,1)=j; else obs(j,1)=0
end;
end;
obs_out=obs

```

Lampiran 4B *Output Nilai Statistik M Fase I*

Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M
1	2,05963	23	5,68391	45	5,87922
2	2,02798	24	4,30272	46	2,40112
3	1,63345	25	4,74549	47	0,9623
4	1,64258	26	4,64350	48	6,4833
5	1,30015	27	2,37587	49	7,6944
6	5,84955	28	3,19799	50	2,7789
7	8,76180	29	1,22438	51	2,3300
8	2,07079	30	1,70232	52	2,6169
9	4,86627	31	0,79202	53	3,4240
10	2,64958	32	3,62707	54	0,8970
11	3,69038	33	4,38600	55	6,8316
12	0,83403	34	3,52414	56	1,3608
13	4,87919	35	2,40225	57	1,9128
14	4,56679	36	2,87050	58	1,4084
15	1,37524	37	3,71050	59	1,3067
16	4,33147	38	2,66568	60	7,2156
17	5,51480	39	3,01013	61	4,2353
18	3,68115	40	1,18274	62	1,0547
19	1,95116	41	2,70260	63	4,0557
20	2,57619	42	2,40675	64	11,6540
21	3,26984	43	4,63575	65	1,9949
22	4,35665	44	1,28425	66	6,3498

Lampiran 4C *Output* Nilai Statistik M Fase II

Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M
1	0.6813	21	10.9790	41	7.4409
2	1.1776	22	21.3749	42	6.2787
3	2.4993	23	4.0234	43	5.5540
4	0.8048	24	3.2587	44	6.2188
5	0.5555	25	1.8051	45	1.7599
6	3.4881	26	3.1726	46	5.9865
7	4.1895	27	3.1538	47	3.2736
8	1.5002	28	1.1945	48	3.4457
9	4.3927	29	1.7330	49	6.0788
10	3.5512	30	0.3823	50	6.8567
11	2.8006	31	2.5426	51	1.9944
12	0.7530	32	1.4101	52	1.0626
13	5.3834	33	1.8764	53	3.1689
14	3.4660	34	2.8792	54	4.3316
15	1.7662	35	1.3891	55	0.3945
16	1.9433	36	0.8400	56	5.5981
17	1.2875	37	0.4202	57	2.6875
18	1.1196	38	1.7998	58	2.4765
19	10.4547	39	2.8815	59	19.8614
20	12.0812	40	3.9685		

Lampiran 4D *Output* Nilai Statistik M Fase II Iterasi I

Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M	Jumbo Roll ke-	M
1	0.6708	21	19.2329	41	6.1782
2	1.1576	22	4.4612	42	5.5457
3	2.5429	23	3.2459	43	6.1391
4	0.9014	24	1.8779	44	1.7310
5	0.5467	25	3.3261	45	6.0187
6	3.5384	26	3.1881	46	3.3945
7	4.2802	27	1.1906	47	3.5576
8	1.5371	28	1.8561	48	5.9995
9	4.3336	29	0.3990	49	6.7405
10	3.7052	30	2.9596	50	2.0625
11	2.7533	31	1.3958	51	1.1711
12	0.7438	32	1.8447	52	3.2684
13	5.3191	33	2.8324	53	4.2657
14	3.5938	34	1.3810	54	0.3888
15	1.9056	35	0.8344	55	5.6238
16	2.0117	36	0.4296	56	3.2101
17	1.2982	37	1.7958	57	3.0922
18	1.3346	38	2.9573	58	20.0078
19	10.3908	39	3.9135		
20	13.1045	40	7.7901		

Lampiran 5 Peta Kendali T^2 Hotelling Individu**Lampiran 5A** Syntax Matlab Peta Kendali T^2 Hotelling Individu
Fase I

```

clc;
clear all;

%Program Peta Kendali T2 Hotelling Individu
data = importdata('D:\T2HotFase1.xlsx');
alpha=input('masukkan nilai alpha: ');
[m,p]=size(data);

%Menghitung Successive Difference
for i=1:(m-1)
for j=1:p
k=i+1;
v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
end
end

%Menghitung Matriks Varians Kovarians
vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

%Menghitung Nilai Statistik T2 Hotelling Individu
invs=inv(s);
rata=mean(data);
for j=1:p
for i=1:m
tsquare1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
end
end
tsquare2=tsquare1';
for i=1:m
for j=1:p
T(i,1)=tsquare1(i,:)*invs*tsquare2(:,i);

```


Lampiran 5A *Syntax* Matlab Peta Kendali T^2 Hotelling Individu
Fase I (Lanjutan)

```

%Menghitung Batas Kendali
a=p/2;
b=(m-p-1)/2;
ucl=(((m-1)^2)/m)*betainv((1-alpha),a,b);
lcl=0;
end
end

%Peta Kendali
for i=1:m
bka(i,1)=ucl;
end
for i=1:m
bkb(i,1)=lcl;
end
x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
title('Peta Kendali T2 Hotelling Fase I')
xlabel('Observasi ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'BKA=')
text(k,lcl,'BKB=')

%Jumlah Observasi yang Keluar
for i=1:m
if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl);
o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
end
end
out=sum(o)

```

Lampiran 5A *Syntax* Matlab Peta Kendali T^2 Hotelling Individu
Fase I (Lanjutan)

```
% Observasi yang Keluar
for i=1:m
if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl)
obs(i,1)=j; else obs(i,1)=0;
end;
end;
obs_out=obs
```

Lampiran 5B Nilai Statistik T^2 Fase I

Jumbo Roll ke-	T^2	Jumbo Roll ke-	T^2	Jumbo Roll ke-	T^2
1	7.3548	20	13.2442	39	7.2606
2	8.8761	21	7.4217	40	5.1285
3	5.5961	22	4.7756	41	6.1987
4	5.0648	23	6.9084	42	7.3936
5	6.3764	24	7.7873	43	5.6313
6	0.7347	25	9.5964	44	6.2659
7	18.6932	26	20.1887	45	11.1214
8	3.5719	27	21.5106	46	6.3239
9	8.8562	28	5.8966	47	7.1787
10	2.9151	29	2.0432	48	20.6835
11	5.2845	30	1.8162	49	31.4571
12	6.5676	31	3.1909	50	11.7623
13	3.1119	32	1.0661	51	9.3056
14	9.6862	33	13.2426	52	2.6406
15	7.9253	34	4.9325	53	5.0236
16	8.8307	35	5.6991	54	3.5330
17	13.3277	36	3.7709	55	6.2451
18	7.4884	37	3.8944	56	6.7673
19	6.1810	38	9.6362	57	2.4030

Lampiran 5B Nilai Statistik T^2 Fase I (Lanjutan)

Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2
58	2.6722	62	4.4634	66	26.8053
59	7.4591	63	6.3550	67	3.6567
60	4.9492	64	6.5538		
61	20.7783	65	22.0517		

Lampiran 5C Nilai Statistik T^2 Fase I Iterasi I

Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2
1	9.5832	23	7.7435	45	6.0879
2	8.5056	24	9.1953	46	6.8114
3	6.0273	25	22.2542	47	20.0961
4	5.2307	26	20.1337	48	30.9866
5	6.2503	27	5.4056	49	12.3573
6	0.7622	28	2.7586	50	8.9322
7	3.5250	29	1.7268	51	2.9841
8	11.4218	30	3.9033	52	4.8703
9	3.0486	31	0.9313	53	3.5060
10	5.4945	32	14.0517	54	6.2388
11	7.7696	33	4.9579	55	7.2307
12	3.9315	34	5.5139	56	2.3942
13	9.3082	35	3.6181	57	3.5701
14	8.6461	36	4.9105	58	9.2360
15	9.0299	37	14.1213	59	5.6548
16	13.3477	38	9.4032	60	19.5829
17	12.0825	39	6.1818	61	4.6360
18	7.1349	40	6.7449	62	6.4913
19	12.8561	41	7.2181	63	6.4751
20	8.6686	42	6.3993	64	3.9959
21	4.9316	43	6.2657		
22	9.4464	44	11.1811		

Lampiran 5D *Syntax* Matlab Peta Kendali T^2 Hotelling Individu
Fase II

```

clc;
clear all;
%Program Peta Kendali T2 Hotelling Individu
data = importdata('D:\T2HotFase2.xlsx');
alpha=input('masukkan nilai alpha: ');
[m,p]=size(data);

%Menghitung Successive Difference
for i=1:(m-1)
for j=1:p
k=i+1;
v(i,j)=data(k,j)-data(i,j);
end
end

%Menghitung Matriks Varians Kovarians
vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;

%Menghitung Nilai Statistik T2 Hotelling Individu
invs=inv(s);
rata=mean(data);
for j=1:p
for i=1:m
tsquare1(i,j)=data(i,j)-rata(1,j);
end
end
tsquare2=tsquare1';
for i=1:m
for j=1:p
T(i,1)=tsquare1(i,:)*invs*tsquare2(:,i);

%Menghitung Batas Kendali
a=p;
b=m-p;

```

Lampiran 5D *Syntax* Matlab Peta Kendali T^2 Hotelling Individu
Fase II (Lanjutan)

```

ucl=(p*(m+1)*(m-1))/(m^2-(m*p))*finv((1-alpha),a,b);
lcl=0;
end
end

%Peta Kendali
for i=1:m
bka(i,1)=ucl;
end
for i=1:m
bkb(i,1)=lcl;
end
x=1:m;
y=T;
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
title('Peta Kendali T2 Hotelling Fase II')
xlabel('Observasi ke-')
ylabel('Tsquare')
text(k,ucl,'BKA=')
text(k,lcl,'BKB=')

%Jumlah Observasi yang keluar
for i=1:m
if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl);
o(i,1)=1; else o(i,1)=0;
end
end
out=sum(o)
% Observasi yang Keluar
for i=1:m
if(T(i,1)>ucl)|(T(i,1)<lcl)
obs(i,1)=j; else obs(i,1)=0;
end;
end;
obs_out=obs

```

Lampiran 5E Nilai Statistik T^2 Fase II

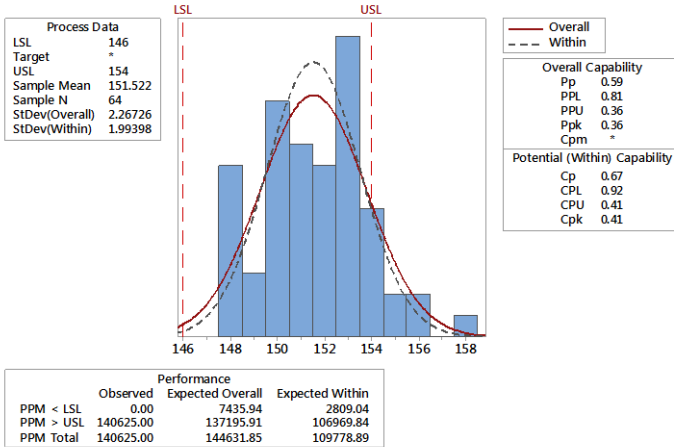
Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2
1	3.7793	21	71.0611	41	3.1521
2	3.7346	22	32.1330	42	9.4945
3	4.5431	23	5.2440	43	8.4614
4	3.1172	24	4.6596	44	6.0110
5	4.3081	25	3.4350	45	14.8407
6	4.1084	26	8.5889	46	10.3927
7	4.6428	27	1.1520	47	4.7982
8	2.0141	28	5.1686	48	5.2193
9	2.6050	29	0.9133	49	5.7725
10	3.5632	30	1.5594	50	4.5638
11	3.1754	31	5.3156	51	0.5721
12	3.9252	32	6.3239	52	2.5149
13	1.8368	33	5.3494	53	4.0614
14	12.0763	34	2.0758	54	1.4465
15	1.8413	35	3.2562	55	1.6884
16	2.9807	36	6.5664	56	6.8965
17	8.8345	37	3.3441	57	3.4288
18	3.4185	38	0.9027	58	5.8661
19	10.6249	39	18.8459	59	59.8094
20	29.1053	40	16.4397		

Lampiran 5F Nilai Statistik T^2 Fase II Iterasi I

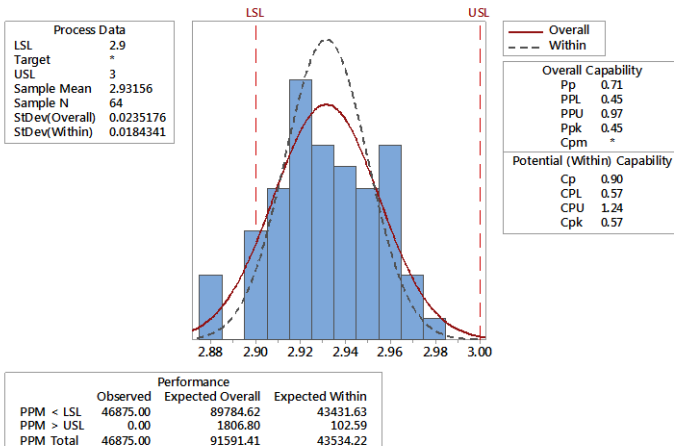
Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2	Jumbo Roll	T^2
1	5.9311	20	35.9661	39	4.1665
2	6.7803	21	6.2793	40	13.0040
3	4.8618	22	4.7708	41	16.3105
4	4.1801	23	5.2088	42	7.8534
5	4.8211	24	14.0180	43	18.9268
6	5.1995	25	1.9502	44	23.4551
7	4.5938	26	6.3130	45	6.0835
8	4.9676	27	1.4198	46	6.4145
9	2.8873	28	2.6336	47	6.6211
10	5.3851	29	6.3301	48	6.9208
11	3.3295	30	6.4174	49	1.2671
12	7.2801	31	6.3191	50	5.7783
13	3.5046	32	2.6390	51	4.4338
14	11.8531	33	5.0229	52	2.2844
15	1.6618	34	9.8464	53	2.7773
16	6.3760	35	5.2562	54	6.9873
17	11.9303	36	1.1978	55	4.7190
18	6.7308	37	21.8116	56	6.6685
19	13.8457	38	17.2538	57	96.6843

Lampiran 6 Indeks Kapabilitas Proses Lampiran 6A Indeks Kapabilitas Proses Fase I

Process Capability Report for BW

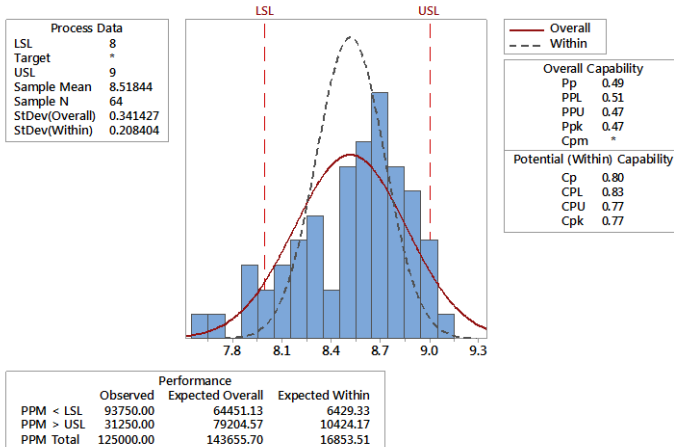


Process Capability Report for BST

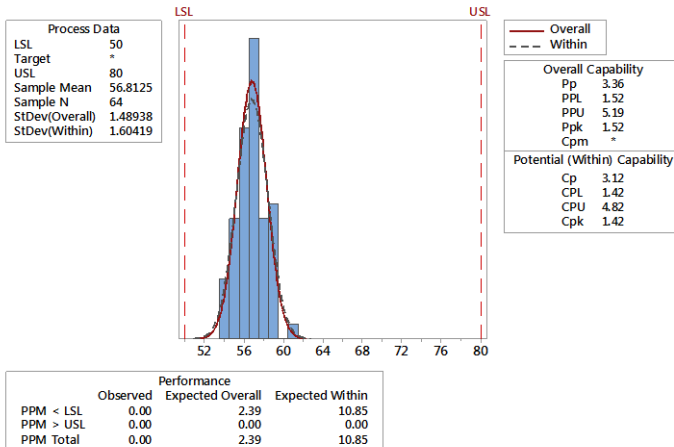


Lampiran 6A Indeks Kapabilitas Proses Fase I (Lanjutan)

Process Capability Report for MOIS

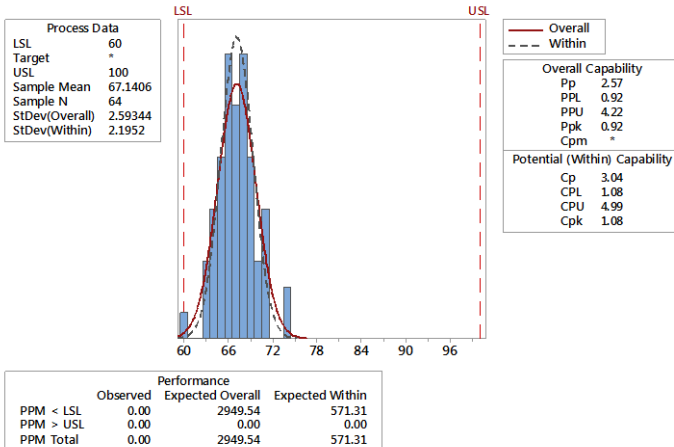


Process Capability Report for CB T



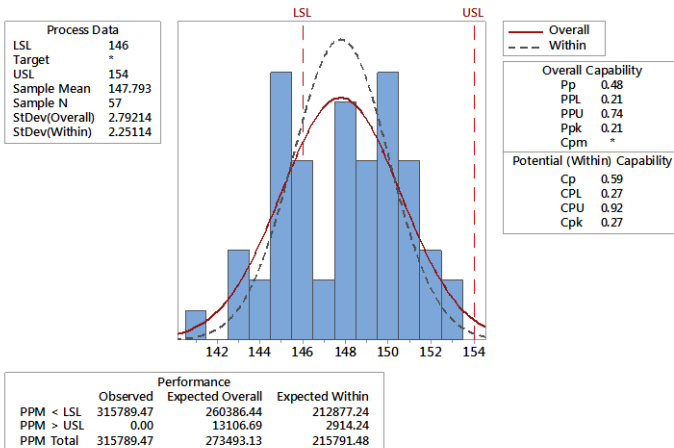
Lampiran 6A Indeks Kapabilitas Proses Fase I (Lanjutan)

Process Capability Report for CB B



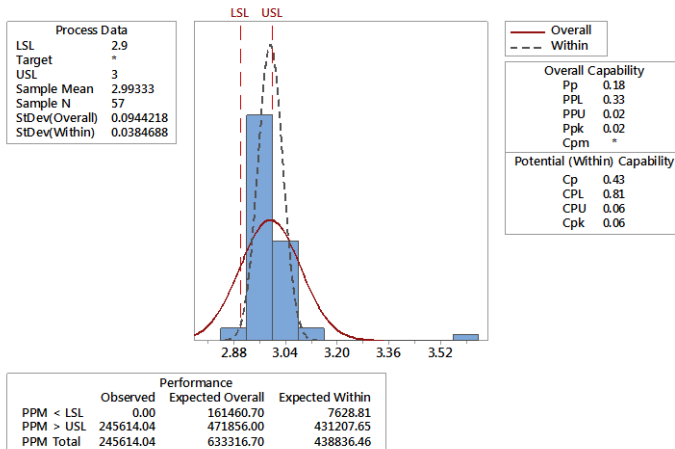
Lampiran 6B Indeks Kapabilitas Proses Fase II

Process Capability Report for BW2

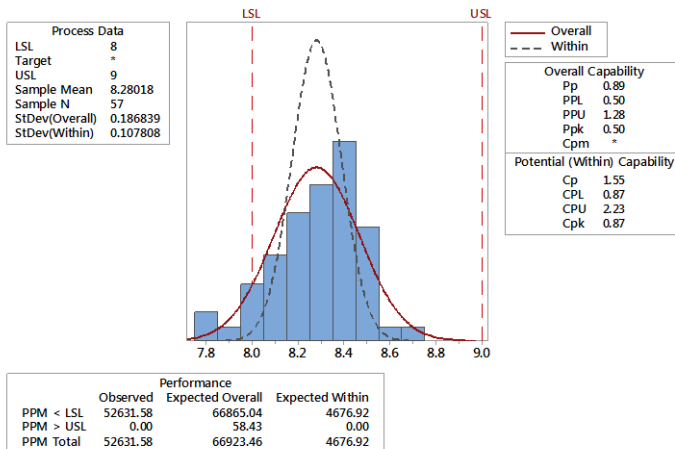


Lampiran 6B Indeks Kapabilitas Proses Fase II (Lanjutan)

Process Capability Report for BST2

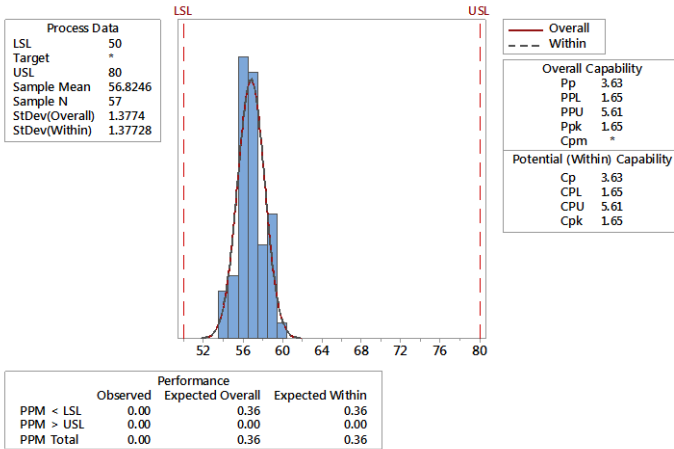


Process Capability Report for MOIS2

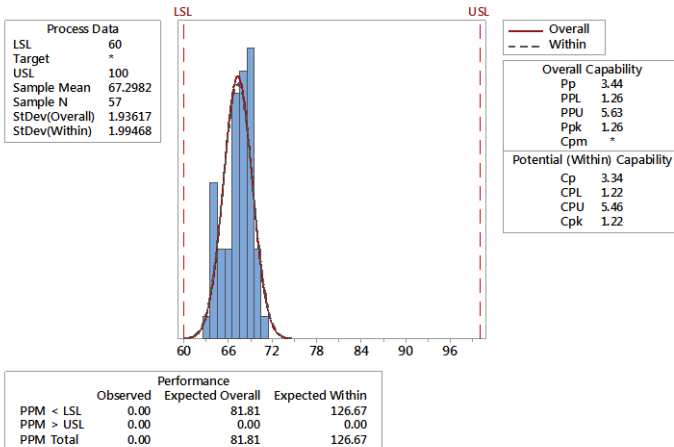


Lampiran 6B Indeks Kapabilitas Proses Fase II (Lanjutan)

Process Capability Report for CB T 2



Process Capability Report for CB B 2



Lampiran 7 Perhitungan Level Sigma**Lampiran 7A** Perhitungan Level Sigma Fase I

$$DPO = \frac{19}{64 \times 5} = 0,059375$$

$$DPMO = DPO \times 1000000 = 59375$$

$$\text{Level sigma} = 3,06$$

Lampiran 7B Perhitungan Level Sigma Fase II

$$DPO = \frac{29}{57 \times 5} = 0,101754$$

$$DPMO = DPO \times 1000000 = 101754$$

$$\text{Level sigma} = 2,77$$

Lampiran 8 Tabel Konversi DPMO ke Level Sigma

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
0,00	933,193	0,44	855,428	0,88	732,371	1,32	571,424
0,01	931,888	0,45	853,141	0,89	729,069	1,33	567,495
0,02	930,563	0,46	850,830	0,90	725,747	1,34	563,559
0,03	929,219	0,47	848,495	0,91	722,405	1,35	559,618
0,04	927,855	0,48	846,136	0,92	719,043	1,36	555,670
0,05	926,471	0,49	843,752	0,93	715,661	1,37	551,717
0,06	925,066	0,50	841,345	0,94	712,260	1,38	547,758
0,07	923,641	0,51	838,913	0,95	708,840	1,39	543,795
0,08	922,196	0,52	836,457	0,96	705,402	1,40	539,828
0,09	920,73	0,53	833,977	0,97	701,944	1,41	535,856
0,10	919,243	0,54	831,472	0,98	698,468	1,42	531,881
0,11	917,736	0,55	828,944	0,99	694,974	1,43	527,903
0,12	916,207	0,56	826,391	1,00	691,462	1,44	523,922
0,13	914,656	0,57	823,814	1,01	687,933	1,45	519,939
0,14	913,085	0,58	821,214	1,02	684,386	1,46	515,953
0,15	911,492	0,59	818,589	1,03	680,822	1,47	511,967
0,16	909,877	0,60	815,940	1,04	677,242	1,48	507,978
0,17	908,241	0,61	813,267	1,05	673,645	1,49	503,989
0,18	906,582	0,62	810,570	1,06	670,031	1,50	500,000
0,19	904,902	0,63	807,850	1,07	666,402	1,51	496,011
0,20	903,199	0,64	805,106	1,08	662,757	1,52	492,022
0,21	901,475	0,65	802,338	1,09	659,097	1,53	488,033
0,22	899,727	0,66	799,546	1,10	655,422	1,54	484,047
0,23	897,958	0,67	796,731	1,11	651,732	1,55	480,061
0,24	896,165	0,68	793,892	1,12	648,027	1,56	476,078
0,25	894,350	0,69	791,030	1,13	644,309	1,57	472,097
0,26	892,512	0,70	788,145	1,14	640,576	1,58	468,119
0,27	890,651	0,71	785,236	1,15	636,831	1,59	464,144
0,28	888,767	0,72	782,305	1,16	633,072	1,60	460,172
0,29	886,860	0,73	779,350	1,17	629,300	1,61	456,205
0,30	884,930	0,74	776,373	1,18	625,516	1,62	452,242
0,31	882,977	0,75	773,373	1,19	621,719	1,63	448,283
0,32	881,000	0,76	770,350	1,20	617,911	1,64	444,330
0,33	878,999	0,77	767,305	1,21	614,092	1,65	440,382
0,34	876,976	0,78	764,238	1,22	610,261	1,66	436,441
0,35	874,928	0,79	761,148	1,23	606,420	1,67	432,505
0,36	872,857	0,80	758,036	1,24	602,568	1,68	428,576
0,37	870,762	0,81	754,903	1,25	598,706	1,69	424,655
0,38	868,643	0,82	751,748	1,26	594,835	1,70	420,740
0,39	866,500	0,83	748,571	1,27	590,954	1,71	416,834
0,40	864,334	0,84	745,373	1,28	587,064	1,72	412,936
0,41	862,143	0,85	742,154	1,29	583,166	1,73	409,046
0,42	859,929	0,86	738,914	1,30	579,260	1,74	405,165

Lampiran 8 Tabel Konversi DPMO ke Level Sigma (Lanjutan)

Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO	Sigma	DPMO
1,76	397,432	2,19	245,097	2,62	131,357	3,05	60,571
1,77	393,580	2,20	241,964	2,63	129,238	3,06	59,380
1,78	389,739	2,21	238,852	2,64	127,143	3,07	58,208
1,79	385,908	2,22	235,762	2,65	125,072	3,08	57,053
1,80	382,089	2,23	232,695	2,66	123,024	3,09	55,917
1,81	378,281	2,24	229,650	2,67	121,001	3,10	54,799
1,82	374,484	2,25	226,627	2,68	119,000	3,11	53,699
1,83	370,700	2,26	223,627	2,69	117,023	3,12	52,616
1,84	366,928	2,27	220,650	2,70	115,070	3,13	51,551
1,85	363,169	2,28	217,695	2,71	113,140	3,14	50,503
1,86	359,424	2,29	214,764	2,72	111,233	3,15	49,471
1,87	355,691	2,30	211,855	2,73	109,349	3,16	48,457
1,88	351,973	2,31	208,970	2,74	107,488	3,17	47,460
1,89	348,268	2,32	206,108	2,75	105,650	3,18	46,479
1,90	344,578	2,33	203,269	2,76	103,835	3,19	45,514
1,91	340,903	2,34	200,454	2,77	102,042	3,20	44,565
1,92	337,243	2,35	197,662	2,78	100,273	3,21	43,633
1,93	333,598	2,36	194,894	2,79	98,525	3,22	42,716
1,94	329,969	2,37	192,150	2,80	96,801	3,23	41,815
1,95	326,355	2,38	189,430	2,81	95,098	3,24	40,929
1,96	322,758	2,39	186,733	2,82	93,418	3,25	40,059
1,97	319,178	2,40	184,060	2,83	91,759	3,26	39,204
1,98	315,614	2,41	181,411	2,84	90,123	3,27	38,364
1,99	312,067	2,42	178,786	2,85	88,508	3,28	37,538
2,00	308,538	2,43	176,186	2,86	86,915	3,29	36,727
2,01	305,026	2,44	173,609	2,87	85,344	3,30	35,930
2,02	301,532	2,45	171,056	2,88	83,793	3,31	35,148
2,03	298,056	2,46	168,528	2,89	82,264	3,32	34,379
2,04	294,598	2,47	166,023	2,90	80,757	3,33	33,625
2,05	291,160	2,48	163,543	2,91	79,270	3,34	32,884
2,06	287,740	2,49	161,087	2,92	77,804	3,35	32,157
2,07	284,339	2,50	158,655	2,93	76,359	3,36	31,443
2,08	280,957	2,51	156,248	2,94	74,934	3,37	30,742
2,09	277,595	2,52	153,864	2,95	73,529	3,38	30,054
2,10	274,253	2,53	151,505	2,96	72,145	3,39	29,379
2,11	270,931	2,54	149,170	2,97	70,781	3,40	28,716
2,12	267,629	2,55	146,859	2,98	69,437	3,41	28,067
2,13	264,347	2,56	144,572	2,99	68,112	⋮	⋮
2,14	261,086	2,57	142,310	3,00	66,807	3,53	21,178
2,15	257,846	2,58	140,071	3,01	65,522	⋮	⋮
2,16	254,627	2,59	137,857	3,02	64,256	5,98	4
2,17	251,429	2,60	135,666	3,03	63,008	5,99	4
2,18	248,252	2,61	133,500	3,04	61,780	6,00	3

Lampiran 9 Perhitungan Dekomposisi Identifikasi Variabel
Penyebab *Out of Control* Fase I

$$\bar{x}_{.j} = \begin{bmatrix} 151,52188 \\ 2,93156 \\ 8,51844 \\ 56,81250 \\ 67,14063 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 5,14047 & 0,00842 & 0,01227 & 0,00566 & -1,39370 \\ 0,00842 & 0,00055 & -0,00257 & -0,00799 & -0,01131 \\ 0,01227 & -0,00257 & 0,11657 & 0,12986 & 0,24850 \\ 0,00566 & -0,00799 & 0,12986 & 2,21825 & 1,80762 \\ -1,39370 & -0,01131 & 0,24850 & 1,80762 & 6,72594 \end{bmatrix}$$

$$S_2^{-1} = \begin{bmatrix} 0,21697 & -3,63539 & -0,17108 & -0,05177 & 0,05908 \\ -3,63539 & 213081486 & 41,60021 & 5,36867 & -0,14896 \\ -0,17108 & 41,60021 & 10,37499 & -0,22139 & -0,28930 \\ -0,05177 & 5,36867 & -0,22139 & 0,61197 & -0,15799 \\ 0,05908 & -0,14896 & -0,28930 & -0,15799 & 0,21382 \end{bmatrix}$$

Perhitungan nilai T_j^2 dan d_j dilakukan pada jumbo roll yang *out of control*. Perhitungan nilai T_j^2 dan d_j pada jumbo roll ke-16 sebagai berikut.

$$T_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})' S_2^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \\ 71 - 67,14063 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 213081486 & \dots & -0,14896 \\ 41,60021 & \dots & -0,28930 \\ 5,36867 & \dots & -0,15799 \\ -0,14896 & \dots & 0,21382 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \\ 71 - 67,14063 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} -46,82838 & 0,95504 & -0,13030 & 0,54059 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,03156 \\ 0,35156 \\ 1,18750 \\ 3,85938 \end{bmatrix}$$

$$T_1^2 = 3,74381$$

Lampiran 9 Perhitungan Dekomposisi Identifikasi Variabel
Penyebab *Out of Control* Fase I (Lanjutan)

$$T_2^2 = \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 9,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 0,21697 & \dots & 0,05908 \\ -0,17108 & \dots & -0,28930 \\ -0,05177 & \dots & -0,15799 \\ 0,05908 & \dots & 0,21382 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 9,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}$$

$$T_2^2 = [0,73086 \quad 1,77564 \quad -0,10986 \quad 0,70592] \begin{bmatrix} 2,87812 \\ 0,35156 \\ 1,18750 \\ 3,85938 \end{bmatrix}$$

$$T_2^2 = 5,32172$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 58 - 56,8125 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 0,21697 & \dots & 0,05908 \\ -3,63539 & \dots & -0,14896 \\ -0,05177 & \dots & -0,15799 \\ 0,05908 & \dots & 0,21382 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 58 - 56,8125 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = [0,90574 \quad -71,91660 \quad -0,20147 \quad 0,81233] \begin{bmatrix} 2,87812 \\ -0,03156 \\ 1,18750 \\ 3,85938 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = 7,77256$$

$$T_4^2 = \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}' \begin{bmatrix} 0,21697 & \dots & 0,05908 \\ -3,63539 & \dots & -0,14896 \\ -0,17108 & \dots & -0,28930 \\ 0,05908 & \dots & 0,21382 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 71 - 67,14060 \end{bmatrix}$$

$$T_4^2 = [0,90708 \quad -63,66680 \quad 0,72554 \quad 0,89824] \begin{bmatrix} 2,87812 \\ -0,03156 \\ 0,35156 \\ 3,85938 \end{bmatrix}$$

$$T_4^2 = 8,34187$$

Lampiran 9 Perhitungan Dekomposisi Identifikasi Variabel
Penyebab *Out of Control* Fase I (Lanjutan)

$$T_5^2 = \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,21697 & \dots & -0,05177 \\ -3,63539 & \dots & 5,36867 \\ -0,17108 & \dots & -0,22139 \\ -0,05177 & \dots & 0,61197 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 154,4 - 151,5220 \\ 2,9 - 2,93156 \\ 8,87 - 8,51844 \\ 58 - 56,81250 \end{bmatrix}$$

$$T_5^2 = \begin{bmatrix} 0,61759 & -56,71660 & 1,57914 & 0,33043 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2,87812 \\ -0,03156 \\ 0,35156 \\ 1,18750 \end{bmatrix}$$

$$T_5^2 = 4,51516$$

Sehingga diperoleh

$$d_j = T^2 - T_{(j)}^2$$

$$d_1 = 13,34770 - 3,74538 = 9,60227$$

$$d_2 = 13,34770 - 5,32172 = 8,02594$$

$$d_3 = 13,34770 - 7,77256 = 5,57509$$

$$d_4 = 13,34770 - 8,34187 = 5,00578$$

$$d_5 = 13,34770 - 4,51516 = 8,83249$$

Lampiran 10 *Output Uji Homogenitas***Box's Test of Equality
of Covariance Matrices^a**

Box's M	185.432
F	11.829
df1	15
df2	61257.865
Sig.	.000

Tests the null hypothesis
that the observed
covariance matrices of
the dependent variables
are equal across groups.

a. Design: Intercept +
Fase

Lampiran 11 Perhitungan Uji Perbedaan Rata-Rata Dua Fase

$$T = [\bar{x}_1 - \bar{x}_2] \left[\frac{1}{m_1} S_1 + \frac{1}{m_2} S_2 \right]^{-1} [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]$$

$$[\bar{x}_1 - \bar{x}_2] = \begin{bmatrix} 151,688 \\ 2,933 \\ 8,535 \\ 56,985 \\ 67,209 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 148,183 \\ 2,980 \\ 8,308 \\ 56,783 \\ 67,283 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,505 \\ -0,047 \\ 0,227 \\ 0,202 \\ -0,074 \end{bmatrix}$$

$$[\bar{x}_1 - \bar{x}_2] = [3,505 \quad -0,047 \quad 0,227 \quad 0,202 \quad -0,074]$$

$$S_1 = \begin{bmatrix} 5,601 & 0,015 & 0,076 & 0,454 & -1,184 \\ 0,015 & 0,001 & -0,002 & -0,005 & -0,010 \\ 0,076 & -0,002 & 0,118 & 0,164 & 0,252 \\ 0,454 & -0,005 & 0,164 & 3,803 & 0,252 \\ -1,184 & -0,010 & 0,252 & 0,252 & 6,713 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 12,640 & 0,049 & 0,485 & -0,389 & 0,145 \\ 0,049 & 0,014 & -0,006 & 0,018 & 0,028 \\ 0,485 & -0,006 & 0,058 & -0,106 & -0,037 \\ -0,389 & 0,018 & -0,106 & 1,868 & 1,228 \\ 0,145 & 0,028 & -0,037 & 1,228 & 3,596 \end{bmatrix}$$

$$m_1 = 67; m_2 = 60$$

$$\left[\frac{1}{m_1} S_1 + \frac{1}{m_2} S_2 \right]^{-1} = \begin{bmatrix} 4,022 & -26,663 & -15,661 & -0,027 & 0,748 \\ -26,663 & 4535816 & 314,000 & -9,901 & -16,242 \\ -15,661 & 314,000 & 446,325 & -1,314 & -10,681 \\ -0,027 & -9,901 & -1,314 & 11,899 & -1,757 \\ 0,748 & -16,242 & -10,681 & -1,757 & 6,824 \end{bmatrix}$$

$$T = [11,737 \quad -236,390 \quad 32,152 \quad 2,605 \quad 0,100] \begin{bmatrix} 3,505 \\ -0,047 \\ 0,227 \\ 0,202 \\ -0,074 \end{bmatrix} = 60,0706$$

Lampiran 12 Surat Penerimaan Penelitian di PT. Mekabox International Mojokerto



PT. MEKABOX INTERNATIONAL

Dusun Se bani Ds. Tangjaronro
Kec. Ngoro Kab. Mojokerto 61385, Indonesia
Telp. (+62) 321 - 6815788, 6815789 Fax. (+62) 321 - 6815799

Kepada : Kepala Fakultas Vokasi Departemen Statistika Bisnis
Perihal : Permohonan Ijin memperoleh Data Untuk Tugas Akhir

Dengan Hormat,

Berdasarkan Surat Nomor : 003107/IT2.VI.8.6/TU.00.09/2019 Tanggal 14 Januari 2019 perihal permohonan ijin memperoleh data untuk Tugas Akhir kepada mahasiswa :

Nama :
1. Puteri Ardhya Pramesti

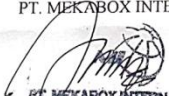
Program Studi : Program Profesi (D-III) Fakultas Vokasi Departemen Statistika Bisnis

Alamat : Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

Bersama ini kami sampaikan bahwa Mahasiswa tersebut di atas dapat kami Terima untuk Pengambilan Data dan Penelitian untuk Tugas Akhirnya Di PT. MEKABOX INTERNATIONAL maka dari tanggal 15 Februari – 31 Mei 2019.

Atas Perhatian dan kesempatannya, kami ucapkan terima kasih.

Mojokerto, 14 Januari 2019
PT. MEKABOX INTERNATIONAL


PT. MEKABOX INTERNATIONAL
Jafar Hendro Sucahyo
Manager HRD-GA

Lampiran 13 Surat Pernyataan Keaslian Data**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini, mahasiswa Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS:

Nama : Puteri Ardhya Pramesti

NRP : 1061160000020

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

Sumber : Bidang *Quality Control* Departemen Produksi PT. Mekabox International

Keterangan : Data hasil pengukuran *basic weight, bursting strength, moisture content, cobb size top*, dan *cobb size bottom* kertas *Test Liner 150 GSM* bulan Januari, Februari, dan April 2019.

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

Surabaya, Juni 2019

Menyetujui,
General Plant Manager


PT. MEKABOX INTERNATIONAL

(Heru Herawan)
NIK.

Yang Membuat Pernyataan,



(Puteri Ardhya Pramesti)
NRP. 1061160000020

Mengetahui,
Pembimbing Tugas Akhir



(Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT)
NIP. 19610311 198701 2 001

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Puteri Ardhya Pramesti, seorang anak pertama dari tiga bersaudara yang lahir di Nganjuk tanggal 22 Maret 1998. Penulis dengan kewarganegaraan Indonesia ini telah menempuh pendidikan di SD Negeri Canggung 2 Mojokerto tahun 2010, SMP Negeri 2 Jetis Mojokerto tahun 2013, SMA Negeri 2 Mojokerto tahun 2016, hingga sekarang penulis mencapai jenjang pendidikan di departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS.

Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi baik di dalam maupun di luar lingkup departemen. Penulis pernah bergabung dalam Himpunan Mahasiswa Diploma Statistika ITS (HIMADATA-ITS) sebagai staf Hubungan Luar periode 2017/2018 dan kabiro alumni pada periode 2018/2019. Penulis juga berkecimpung menjadi pemandu ITS pada tahun kedua hingga tahun terakhir perkuliahan. Kesibukan dalam berorganisasi tidak membuat penulis melupakan akademik. Penulis pernah menjadi Asisten Dosen mata kuliah Metode Regresi dan Statistika Nonparametrik. *“Apapun yang terjadi, lakukanlah!”* merupakan motto yang menjadi pegangan penulis. Informasi lebih lanjut dapat ditanyakan melalui *e-mail*: puteri.pap@gmail.com atau nomor HP: 082228183811.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)