



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS *BULB* LAMPU PIJAR
TIPE PS 47 DI PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT
MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT**

**DINA FITRIASARI
NRP 062114 4000 0096**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
Ni Luh Putu Satyaning Pradnya Paramita, S.Si, M.Sc**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR - SS141501

**PENGENDALIAN KUALITAS *BULB* LAMPU PIJAR
TIPE PS 47 DI PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT
MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT**

**DINA FITRIASARI
NRP 062114 4000 0096**

**Dosen Pembimbing
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
Ni Luh Putu Satyaning Pradnya Paramita, S.Si, M.Sc**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA, KOMPUTASI, DAN SAINS DATA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - SS 141501

**QUALITY CONTROL OF FLUORESCENT LAMPS
BULB TYPE PS 47 IN PT. SINAR ANGKASA
RUNGKUT USING MULTIVARIAT CONTROL
CHART**

**DINA FITRIASARI
SN 062114 4000 0096**

**Supervisor
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
Ni Luh Putu Satyaning Pradnya Paramita, S.Si, M.Sc**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATHEMATICS, COMPUTING, AND DATA SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGENDALIAN KUALITAS *BULB* LAMPU PIJAR TIPE PS 47 DI PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada

Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi, dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dina Fitriasari

NRP. 062114 4000 0096

Disetujui oleh Pembimbing:

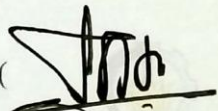
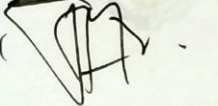
Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S

NIP. 19580823 198403 1 003

Ni Luh Putu Satyaning Pradnya

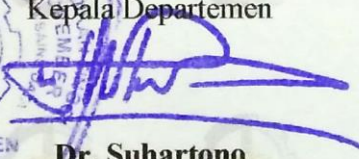
Paramita, S.Si, M.Sc

NIP. 1991201712036

()
()



Mengetahui,
Kepala Departemen


Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGENDALIAN KUALITAS *BULB* LAMPU PIJAR TIPE PS 47 DI PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT MENGUNAKAN DIAGRAM KENDALI MULTIVARIAT

Nama Mahasiswa : Dina Fitriasari
NRP : 062114 4000 0096
Departemen : Statistika
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
Ni Luh Putu Satyaning Pradnya
Paramita, S.Si, M.Sc

Abstrak

PT. Sinar Angkasa Rungkut adalah salah satu produsen lampu terkemuka di Indonesia yang memproduksi lampu listrik merek Chiyoda. Lampu pijar tipe PS 47 merupakan salah satu jenis lampu pijar yang masih diproduksi hampir setiap hari sampai saat ini dengan tingkat penjualannya yang cukup tinggi. Salah satu ukuran kualitas lampu pijar tipe PS 47 adalah pada bola lampu (bulb). Kualitas lampu di perusahaan ini hanya ditentukan berdasarkan variabel kualitas bulb yang telah sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya pengendalian kualitas secara statistik. Pada penelitian ini digunakan diagram kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV) dengan pengamatan individual untuk mendeteksi perubahan variabilitas proses. Sementara itu, monitoring rata-rata proses produksi dilakukan dengan menggunakan diagram kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA). Variabel kualitas bulb yang digunakan dalam penelitian ini adalah rata tebal leher minimum dan rata diameter leher. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa variabilitas proses telah terkendali secara statistik dengan menggunakan pembobot optimum $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$. Sementara itu untuk rata-rata proses belum terkendali secara statistik dengan menggunakan nilai pembobot optimum $\lambda = 0,9$. Variabel utama penyebab pengamatan yang berada diluar batas kendali pada rata-rata proses adalah rata tebal leher minimum. Kapabilitas proses menggunakan indeks MPpk menunjukkan bahwa proses telah kapabel. Nilai MPpk sebesar 1,14 menunjukkan bahwa presisi dan akurasi proses telah baik.

***Kata Kunci : Bulb, Kapabilitas, Lampu Pijar, MEWMA, MEWMV,
Rata Diameter Leher, Rata Tebal Leher Minimum.***

QUALITY CONTROL OF FLUORESCENT LAMPS BULB TYPE PS 47 IN PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT USING MULTIVARIAT CONTROL CHART

Name : Dina Fitriasari
Student Number : 06211440000096
Department : Statistics
Supervisors : Dr. Drs. Agus Suharsono, M.S
Ni Luh Putu Satyaning Pradnya
Paramita, S.Si, M.Sc

Abstract

PT. Sinar Angkasa Rungkut is one of the leading lighting manufacturers in Indonesia producing electric lights of Chiyoda. Fluorescent lamp type PS 47 is one of fluorescent lamp which the company still produces almost every day until today. One of the main quality measures of fluorescent lamp type PS 47 is the quality of its bulb. Quality of the fluorescent lamp in this company is only determined by whether the quality characteristic of its bulb is within the specification limits without any statistical-based quality control. In this study, the analysis is undertaken using Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV) control charts with individual observations to detect changes in process variability. Meanwhile, the average monitoring of production process is performed using Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA) control chart. The bulb quality variable used in this research are the average of minimum neck thickness and the average of neck diameter. The results suggest that the process variability is statistically controlled with the optimum weight $\omega = 0.7$ and $\lambda = 0.9$. However, process mean is not statistically controlled yet with optimum weight $\lambda = 0.9$. The main variable causes some observations are still out of control on the mean process is the minimum thickness of the neck. Process capability is using MPpk index that shows the process is already capable. MPpk value of 1.14 indicates that the precision and accuracy of the process is good.

Keywords: Average of Neck Diameter, Average of Minimum Neck Thickness, Bulb, Capability, Fluorescent Lamps, MEWMA, MEWMV.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat-Nya dan karunia yang diberikan kepada penulis sehingga Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Bulb Lampu Pijar Tipe PS 47 di PT Sinar Angkasa Rungkut Menggunakan Diagram Kendali Multivariat”** dapat terselesaikan dengan lancar.

Terselesaikannya tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, kakak, dan keluarga penulis yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika Fakultas Matematika Komputasi dan Sains Data Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
3. Bapak Dr. Agus Suharsono, M.Si dan Ibu Ni Luh Putu SatyaningP.P, S.Si., M.Sc selaku dosen pembimbing dan co-pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan ilmu, bimbingan, dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Ibu Diaz Fitra Aksioma, M. Sidan Bapak Drs. Muhammad Mashuri, M.T selaku dosen penguji yang telah memberi masukan kepada penulis.
5. Bapak Dr. Sutikno, M.Si. selaku Ketua Program Studi Sarjana yang telah memberikan fasilitas, sarana, dan prasarana.
6. Ibu Menik selaku HRD PT. Sinar Angkasa Rungkut yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di PT. Sinar Angkasa Rungkut.
7. Bapak Widjaja Sutanto selaku pembimbing lapangan yang telah membimbing penulis selama melakukan penelitian di PT. Sinar Angkasa Rungkut.

8. Para dosen pengajar dan staf Departemen Statistika FMKSD ITS yang memberikan bekal ilmu selama masa perkuliahan.
9. Sahabat-sahabat penulis, Diaz Arsyah Dip Susangunap, Nafilah Faradiba, Ramadhani Etika, Dwi Retno, Nisa Andini, Vidya Sukma, Linda Wulansari, Rizky Nanda Ghifari, Khusnul Fatimah, dan Rizky Cahyani yang selama ini telah membantu, mendukung, dan mendengarkan keluhan penulis selama menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Teman-teman seperjuangan Statistika ITS angkatan 2014, Respect, yang selalu memberikan dukungan, kritik dan saran, motivasi serta semangat terkait Tugas Akhir.
11. Semua pihak yang telah membantu dan memberi motivasi yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.

Penulis sadar bahwa dalam Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar nantinya menjadi koreksi untuk menghasilkan tulisan yang lebih baik di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat baik untuk perusahaan terkait penyelesaian permasalahan yang sedang dialami serta untuk menambah wawasan keilmuan bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Uji Dependensi Variabel	7
2.2 Distribusi Normal Multivariat	8
2.3 Diagram Kendali	9
2.3.1 Diagram Kendali Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)	10
2.3.2 Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)	11
2.3.3 Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)	17
2.4 Diagram Ishikawa	18
2.5 Analisis Kapabilitas Proses	18
2.6 Proses Produksi Bulb Lampu Pijar PS 47	20

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Sumber Data	23
3.2 Variabel Penelitian.....	23
3.3 Struktur Data.....	24
3.4 Langkah Analisis	24
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Bulb Lampu Pijar PS 47	29
4.2 Pemeriksaan Dependensi antar Variabel	30
4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	31
4.4 Pengendalian Variabilitas Proses Bulb Lampu Pijar Tipe PS 47	31
4.5 Pengendalian Rata-rata Proses Bulb Lampu Pijar Tipe PS 47	40
4.6 Identifikasi Penyebab Proses Out of Control.....	46
4.6.1 Pengendalian Kualitas Secara Individu	47
4.6.2 Analisis Diagram Ishikawa	49
4.7 Kapabilitas Proses	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Contoh Diagram <i>Ishikawa</i>	18
Gambar 2.2 Proses Produksi <i>Blub</i> Lampu Pijar PS 47	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1 Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,6$ dan $\lambda=0,6$...	34
Gambar 4.2 Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,7$ dan $\lambda=0,7$	35
Gambar 4.3 Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,8$ dan $\lambda=0,8$	36
Gambar 4.4 Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,9$ dan $\lambda=0,9$	37
Gambar 4.5 Diagram Kendali MEWMV $\omega=0,7$ dan $\lambda=0,9$	38
Gambar 4.6 Diagram Kendali MEWMA $\lambda=0,1$	41
Gambar 4.7 Diagram Kendali MEWMA $\lambda=0,2$	42
Gambar 4.8 Diagram Kendali MEWMA $\lambda=0,6$	43
Gambar 4.9 Diagram Kendali MEWMA $\lambda=0,7$	44
Gambar 4.10 Diagram Kendali MEWMA $\lambda=0,9$	44
Gambar 4.11 Diagram Kendali EWMV Variabel Rata Tebal Leher Minimum	47
Gambar 4.12 Diagram Kendali EWMV Variabel Rata Diameter Luar Leher	48
Gambar 4.13 Diagram Ishikawa Proses Produksi <i>Bulb</i> Lampu Pijar PS 47	50

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	23
Tabel 3.2 Struktur Data	24
Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas	30
Tabel 4.2 Diagram Kendali MEWMV dengan Kombonasi ω dan λ yang Sama	32
Tabel 4.3 Diagram Kendali MEWMV dengan Kombonasi ω dan λ Berbeda	32
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal Untuk MEWMV	39
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal Untuk MEWMA	45
Tabel 4.6 Kapabilitas Proses Secara Univariat	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Ukuran Kualitas <i>Bulb</i> Lampu Pijar PS 47	54
Lampiran B Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat	57
Lampiran C Pengujian Dependensi antar Variabel	57
Lampiran D Tabel Nilai L dengan $p=2$	58
Lampiran E Program Diagram Kendali MEWMV	59
Lampiran F Diagram Kendali MEWMV	61
Lampiran G Diagram Kendali MEWMA	65
Lampiran H Kapabilitas Proses Rata-rata Tebal Leher Minimum.....	68
Lampiran I Kapabilitas Proses Rata-rata Diameter Luar Leher	69
Lampiran J Surat Izin Pengambilan Data.....	72
Lampiran K Surat Izin Publikasi	73

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu pijar merupakan salah satu jenis lampu yang telah banyak dikenal dan digunakan oleh masyarakat. Harganya yang murah dan mudah didapat membuat lampu pijar masih sering digunakan oleh masyarakat sampai saat ini, meskipun pemerintah telah menghimbau kepada masyarakat untuk menggunakan lampu hemat energi. Lampu pijar atau *fluorescent light bulb* adalah lampu listrik yang menghasilkan cahaya dengan cara melewatkan arus listrik pada sebuah kawat filamen hingga suhu 2.200°C yang menyebabkan kawat tersebut panas dan berpijar sehingga dapat menghasilkan cahaya (Wahyudi, 2004). Selain memanfaatkan cahaya sebagai penerangan, panas yang dihasilkan lampu pijar juga dimanfaatkan sebagai pemanas kandang ayam dan pemanas inframerah dalam proses pemanasan di bidang industri. Selain itu, lampu pijar juga sering digunakan sebagai lampu dekorasi karena memiliki bentuk yang unik dan bervariasi. Menurut ketua umum Asosiasi Industri Perlampuan Listrik Indonesia (Aperlindo), pertumbuhan sektor properti dan daya listrik yang tersedia akan menjadi penopang utama kenaikan permintaan lampu. Selain itu, iklim ekspor yang kian kondusif pun membuat produsen lampu nasional berpeluang untuk terus meningkatkan ekspor lampu dan bersaing secara kualitas dengan produk-produk impor. Dengan adanya penambahan daya listrik di Indonesia, kebutuhan lampu pada tahun 2017 adalah sebanyak 350 juta unit dan diprediksi akan bertambah 14% sepanjang tahun 2018 yaitu sekitar 400 juta unit. Adapun data yang dihimpun oleh Aperlindo menunjukkan pada tahun 2016 lalu ada 68 juta konsumen PLN. Dengan asumsi pertumbuhan pengguna listrik rata-rata 5% per tahun, maka konsumen PLN pada tahun 2019 diprediksi akan meningkat sekitar 70 juta pelanggan (Aziliya, 2017).

PT. Sinar Angkasa Rungkut adalah salah satu produsen lampu terkemuka di Indonesia yang memproduksi lampu listrik

merek Chiyoda. Beberapa jenis lampu yang diproduksi oleh PT. Sinar Angkasa Rungkut adalah lampu pijar, lampu neon, dan lampu LED. Lampu pijar tipe PS 47 merupakan salah satu jenis lampu pijar yang masih diproduksi hampir setiap hari sampai saat ini oleh PT. Sinar Angkasa Rungkut dengan tingkat penjualannya yang cukup tinggi. Dalam memenuhi kebutuhan pelanggan terhadap lampu pijar tipe PS 47, sudah menjadi tuntutan bagi PT. Sinar Angkasa Rungkut untuk selalu mempertahankan dan memberikan produk yang berkualitas. Salah satu ukuran kualitas lampu pijar tipe PS 47 adalah pada *bulb* atau bola lampu. Dimana fungsi utama *bulb* atau bola lampu adalah untuk mengkonsentrasikan panas di sekitar filamen, sehingga dibutuhkan *bulb* atau bola lampu kedap udara agar dapat menghasilkan cahaya dengan sempurna (Wahyudi, 2004). Oleh karena itu, sangat penting dilakukan pengendalian kualitas pada *bulb* sehingga kualitas lampu pijar PS 47 akan terjaga. Variabel kualitas *bulb* menjadi salah satu tolak ukur baik atau tidaknya kualitas produk lampu pijar tipe PS 47 yang diproduksi sehingga harus memenuhi batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Pengendalian kualitas perlu dilakukan karena dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan penjualan dan mengurangi biaya karena adanya peningkatan produktivitas, penurunan *rework*, bahan yang terbuang, dan biaya garansi (Heizer & Render, 2009). Baik atau tidaknya kualitas *bulb* di PT. Sinar Angkasa Rungkut hanya ditentukan berdasarkan variabel kualitas *bulb* yang telah sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya pengendalian kualitas secara statistik. Pengendalian kualitas secara statistik sangat diperlukan untuk membantu perusahaan dalam mengontrol stabilitas proses produksi *bulb* melalui variabilitas dan rata-rata proses sehingga dapat diketahui kapabilitas proses produksinya. Pengendalian kualitas statistik adalah suatu kegiatan membandingkan kualitas produk yang dihasilkan dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk kemudian diambil sebuah tindakan apabila terdapat ketidaksesuaian antara kualitas produk dengan standart yang ditetapkan oleh perusahaan (Montgomery, 2009).

Dalam penelitian ini, dilakukan pengendalian kualitas secara statistik terhadap proses produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 dengan dua karakteristik kualitas yaitu pengukuran tebal leher *bulb* dan diameter luar leher *bulb*, sehingga diharapkan produk telah sesuai dengan batas spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan. Kedua karakteristik kualitas tersebut akan mempengaruhi proses pemasangan filamen dan *base* pada bagian leher lampu, sehingga dibutuhkan ukuran ketebalan dan diameter luar leher yang sempurna agar lampu yang dihasilkan dapat kedap udara dan tidak berongga. Kedua karakteristik tersebut saling berhubungan, apabila kaca pada bagian leher *bulb* semakin tebal, maka diameter luar leher *bulb* akan semakin lebar pula. Pengendalian kualitas pada proses produksi dapat dilakukan pada variabel-variabel yang memungkinkan adanya indikasi *out of control* atau berada diluar batas kendali (Garvin, 2001). Diagram kendali merupakan salah satu alat dalam mengontrol proses secara statistik yang berfungsi untuk mengendalikan suatu karakteristik dari kualitas. Diagram kendali yang efektif adalah diagram kendali yang dapat mendeteksi pergeseran yang kecil dari proses produksi. Terdapat dua macam diagram kendali, yaitu diagram kendali univariat dan diagram kendali multivariat. Pada suatu proses produksi sering dijumpai beberapa karakteristik kualitas yang saling berhubungan, sehingga analisis yang relevan untuk mengontrol proses adalah diagram kendali multivariat. Salah satu diagram kendali multivariat yang mampu mendeteksi adanya pergeseran proses yang kecil adalah diagram kendali *Multivariat Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) dan *Multivariat Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) yang menggunakan pembobot untuk mengatasi pergeseran pengamatan yang sangat kecil dari pengamatan di proses produksi kontinu dan karakteristik kualitas lebih dari satu. Diagram kendali MEWMV merupakan diagram kendali multivariat untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses yang sangat kecil. Diagram kendali MEWMA merupakan diagram kendali multivariat untuk mendeteksi pergeseran *mean*

yang lebih kecil serta lebih *robust* terhadap distribusi normal (Montgomery, 2009).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Widiastuti (2016) mengenai pengendalian kualitas pada proses produksi lampu pijar di PT. Lucolite Cemerlang menggunakan metode *six sigma* dengan diagram kendali C menghasilkan bahwa proses produksi *out control* dan tidak kapabel, serta sigma perusahaan berada pada level 4σ sehingga perlu dilakukan iterasi berulang sampai proses memenuhi kriteria. Iterasi berhenti pada iterasi ke-19, yaitu ketika proses produksi *in control* dan kapabel, serta sigma perusahaan berada pada level maksimum. Berdasarkan analisa lebih dari 80% keseluruhan banyak cacat hanya terjadi pada lima jenis cacat yaitu, kerusakan flare sebesar 21%, kerusakan stem sebesar 19%, kerusakan base sebesar 16%, kerusakan bulb sebesar 13,6%, dan kerusakan non fisik sebesar 10%. Selain itu penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Novitasari (2016) mengenai penerapan diagram kendali MEWMV dan MEWMA untuk pengendalian kualitas produk pakan ternak di PT. Japfa Comfeed Indonesia unit Gedangan dengan hasil bahwa pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMV didapatkan nilai pembobot yang paling optimal untuk ω sebesar 0,3 dan λ sebesar 0,4. Sedangkan pembobot optimal diagram kendali MEWMA adalah 0,4. Baik pada fase satu maupun fase dua, variabilitas terkendali secara statistik sedangkan rata-rata proses tidak terkendali secara statistik karena ada data yang *out of control*.

1.2 Rumusan Masalah

Pengendalian kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 di PT. Sinar Angkasa Rungkut sampai saat ini hanya dilakukan dengan pengukuran kualitas proses berdasarkan variabel kualitas *bulb* yang telah sesuai dengan spesifikasi tanpa adanya pengendalian kualitas secara statistik. Kualitas proses diukur berdasarkan variabel kualitas yaitu tebal leher dan diameter luar leher yang saling memiliki hubungan antar variabel yaitu apabila semakin tebal kaca pada bagian leher *bulb* maka diameter luar leher *bulb*

akan semakin lebar pula. Oleh karena itu dalam penelitian ini digunakan pengendalian kualitas secara statistik untuk mengetahui bagaimana hasil pengendalian kualitas serta kapabilitas proses produksi pada *bulb* lampu pijar tipe PS 47 di PT. Sinar Angkasa Rungkut.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan dari penelitian ini adalah untuk memonitoring variabilitas proses dan rata-rata proses pada produk *bulb* lampu pijar tipe PS 47 secara multivariat serta melakukan penilaian kebaikan proses produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 dengan menggunakan indeks kapabilitas proses.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah dapat menjadi salah satu sumber informasi bagi PT. Sinar Angkasa Rungkut mengenai pengendalian kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 secara statistik sehingga pergeseran proses dapat terdeteksi dan hasilnya dapat digunakan sebagai evaluasi perbaikan kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan merupakan hasil pengukuran karakteristik kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 pada bulan September – November 2017 yang diperoleh dari departemen *Quality Control* PT. Sinar Angkasa Rungkut.
2. Terdapat 8 variabel pengukuran kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 yaitu tebal leher minimum, tebal leher maksimum, tebal kepala, diameter luar kepala, diameter luar leher, diameter luar mulut, diameter dalam mulut, dan panjang total. Tetapi pada penelitian ini hanya digunakan dua variabel saja yaitu tebal leher minimum dan diameter luar leher.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uji Dependensi Variabel

Pengujian dependensi variabel dilakukan untuk mengetahui hubungan antar variabel. Variabel $X_1, X_2, \dots, X_p$ dikatakan bersifat saling bebas (*independent*) jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas. Uji dependensi yang digunakan adalah uji *Bartlett sphericity* dengan hipotesis sebagai berikut (Morrison, 1990).

$H_0 : \rho = \mathbf{I}$ (variabel saling independen atau tidak ada korelasi)

$H_1 : \rho \neq \mathbf{I}$ (variabel saling dependen atau ada korelasi)

Statistik uji :

$$\chi^2_{hitung} = - \left\{ n - 1 - \frac{2p+5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

dengan,

n : jumlah observasi ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

p : jumlah variabel ($j = 1, 2, 3, \dots, p$)

$\mathbf{R}$: matriks korelasi dari masing-masing variabel

Daerah penolakan H_0 yaitu jika nilai $\chi^2_{hitung} > \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ pada

taraf signifikansi α , maka dapat diputuskan tolak H_0 yang berarti bahwa terdapat korelasi antar variabel, sehingga dapat dilanjutkan ke analisis multivariat. Matrik korelasi $\mathbf{R}$ diberikan oleh (Walpole, 1995).

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

$$r_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ih} - \bar{x}_h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}} \quad (2.2)$$

dengan,

i = sampel variabel ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$)

n = jumlah observasi

$\mathbf{R}$ = matriks korelasi masing-masing variabel

r_{jh} = nilai korelasi antara variabel j dan variabel h

x_{ij} = sampel ke- i darivariabel j ($j = 1, 2, \dots, p$)

x_{ih} = sampel ke- i dari variabel h ($h = 1, 2, \dots, p$)

$\bar{x}_j$ = rata-rata sampel variabel j ($j = 1, 2, \dots, p$)

$\bar{x}_h$ = rata-rata sampel variabel h ($h = 1, 2, \dots, p$)

2.2 Distribusi Normal Multivariat

Distribusi normal multivariat merupakan distribusi yang dibentuk dari perluasan distribusi normal univariat untuk data multivariat. Pengujian distribusi normal multivariat dilakukan untuk menguji apakah distribusi data yang akan dianalisis telah berdistribusi normal multivariat atau belum. Variabel random $x_1, x_2, \dots, x_p$ berdistribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika mempunyai *probability density function* berikut.

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(\mathbf{x}-\mu)'\Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\mu)]} \quad (2.3)$$

dengan,

$\mathbf{x}$ = vektor variabel respon

μ = vektor rata-rata umum

p = banyaknya variabel respon

Pengujian normal multivariat dilakukan dengan menggunakan pengujian *saphiro-wilk* dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0 : F(x) = F_{W^*}(x)$ (Data berdistribusi normal multivariat)

$H_1 : F(x) \neq F_{W^*}(x)$ (Data Tidak berdistribusi normal multivariat)

Statistik Uji :

$$W_x = \frac{\left(\sum_{p=1}^n a_p \mathbf{X}_p \right)^2}{\sum_{p=1}^n \left(\mathbf{X}_p - \bar{x} \right)^2} \quad (2.4)$$

dengan nilai a_p adalah sebagai berikut.

$$a_p = \frac{\mathbf{M}^T \mathbf{V}^{-1}}{\left(\mathbf{M}^T \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^{-1} \mathbf{M} \right)^{1/2}} \quad (2.5)$$

dengan,

$\mathbf{M}^T$ = vektor nilai harapan normal standart statistik terurut

$\mathbf{V}$ = matriks varian kovarian $t \times t$

$\mathbf{X}_p$ = vektor amatan acak terurut

Sehingga data dikatakan tidak mengikuti distribusi normal multivariat ketika nilai statistik uji W kecil. Dimana nilai maksimum statistik uji W adalah satu. Selain itu, hal ini juga dapat dilihat ketika p -value kurang dari nilai α (Shapiro &Wilk, 1965).

2.3 Diagram Kendali

Diagram kendali secara teknik merupakan alat terancang dari 7 alat pengendalian kualitas. Menurut Montgomery (2009) Pengendalian kualitas proses merupakan alat penyelesaian sebuah masalah untuk mencapai proses yang stabil, serta mampu mengurangi variabilitas. Diagram kendali merupakan karakteristik kualitas yang disajikan secara grafis yang memuat pengukuran yang dilakukan terhadap sampel pada sumbu y dan nomor sampel atau waktu pada sumbu x. Diagram kendali terdiri dari garis tengah yang merupakan nilai *mean* dari karakteristik ketika proses dalam keadaan *in control*. Diagram kendali juga memuat garis batas kendali atas dan bawah yang berfungsi

sebagai penentu apakah proses dalam keadaan *in control* atau tidak. Proses yang berada diluar batas limit akan dikatakan sebagai proses *out of control*.

2.3.1 Diagram Kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA)

Diagram kendali EWMA merupakan diagram kendali univariat yang digunakan untuk memonitoring *mean* proses. Titik-titik pengamatan yang dihasilkan pada plot adalah *weighted moving average* atau pergeseran *mean* yang telah terboboti, dimana nilai pembobot (λ) ditentukan oleh peneliti antara 0,1 hingga 0,9. Plot *Exponentially Weighted Moving Average* diberikan sebagai berikut.

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (2.6)$$

dengan,

z_i = Nilai EWMA pengamatan ke- i

z_{i-1} = Nilai EWMA pengamatan ke- $(i-1)$

x_i = Data pengamatan ke- i

λ = Nilai pembobot

Nilai tengah dan batas kendali untuk diagram kendali EWMA adalah sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$\text{BKA} = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (2.7)$$

$$\text{Garis Tengah} = \mu_0 \quad (2.8)$$

$$\text{BKB} = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda} [1 - (1-\lambda)^{2i}]} \quad (2.9)$$

dengan,

i = 1,2,3,..., n

n = banyak sampel

μ_0 = target proses

σ = nilai standart deviasi

L = lebar diagram kendali

λ = besarnya pembobot

BKA = batas kendali atas
 BKB = batas kendali bawah,

2.3.2 Diagram Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV)

Diagram kendali MEWMV digunakan untuk mendeteksi pergeseran variabilitas proses pada kasus multivariat tanpa adanya asumsi tidak terjadi perubahan rata-rata proses selama periode pengontrolan berlangsung. Berikut merupakan perumusan diagram kendali MEWMV.

$$\mathbf{V}_n = \omega(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)(\mathbf{x}_n - \mathbf{y}_n)^T + (1 - \omega)\mathbf{V}_{n-1} \quad (2.10)$$

Dimana ω merupakan nilai pembobot bernilai $0 < \omega < 1$ dan $\mathbf{V}_0 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)^T$, x_n merupakan estimasi *multivariate exponentially weighted moving average*, dan y_n merupakan estimasi natural untuk perubahan *mean* proses pada setiap waktu ke n yang didefinisikan sebagai berikut (Lowry, Champ, & Rigdon, 1992).

$$y_n = \lambda x_n + (1 - \lambda)y_{n-1} \quad (2.11)$$

Dimana $0 < \lambda < 1$ dan $y_0 = 0$, untuk mendeteksi adanya perubahan matriks kovarians dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}; \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

Dimana nilai n adalah banyaknya pengamatan yang dilakukan dengan p adalah banyaknya variabel karakteristik kualitas. Untuk mengetahui perubahan dalam matriks kovarians, maka harus didefinisikan suatu matriks $\mathbf{C}$. Matriks $\mathbf{C}$ adalah matriks diagonal berukuran $n \times n$ dengan ω sebagai elemennya dimana ω adalah *smoothing constant*. Matriks ini menunjukkan suatu nilai pembobot dari $\mathbf{V}_n$ yang dapat dituliskan :

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (1-\omega)^{n-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \omega(1-\omega)^{n-2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & 0 & \omega(1-\omega) & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega \end{bmatrix}$$

Untuk masing-masing nilai n , persamaan (2.10) dapat dijabarkan sebagai berikut.

Untuk $n = 1$,

$$V_1 = \omega(x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T + (1-\omega)V_0$$

Untuk $n = 2$,

$$V_2 = \omega(x_2 - y_2)(x_2 - y_2)^T + \omega(1-\omega)(x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T + (1-\omega)^2 V_0$$

Untuk $n = 3$,

$$V_3 = \omega(x_3 - y_3)(x_3 - y_3)^T + \omega(1-\omega)(x_2 - y_2) + \omega(1-\omega)^2(x_1 - y_1)(x_1 - y_1)^T + (1-\omega)^2 V_0$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Dengan demikian secara umum persamaan (2.10) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V_n = \sum_{i=1}^n \omega(1-\omega)^{n-i}(x_i - y_i)(x_i - y_i)^T + (1-\omega)^n V_0 \quad (2.12)$$

Persamaan (2.11) juga memiliki penjabaran yang serupa dengan persamaan (2.10). Ketika masing-masing nilai n dimasukkan ke dalam persamaan (2.11) maka akan didapatkan nilai y_n sebagai berikut.

Untuk $n = 1$,

$$y_1 = \lambda x_1$$

Untuk $n = 2$,

$$y_2 = \lambda x_2 + \lambda(1 - \lambda)x_1$$

Untuk $n = 3$,

$$y_3 = \lambda x_3 + \lambda(1 - \lambda)x_2 + \lambda(1 - \lambda)^2 x_1$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Secara umum, persamaan (2.11) dapat diubah menjadi persamaan berikut.

$$y_n = \sum_{i=1}^n \lambda(1 - \lambda)^{n-i} x_i \quad (2.13)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.13) ke dalam $x_i - y_i$ maka dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} x_i - y_i &= x_i - \sum_{j=1}^i \lambda(1 - \lambda)^{i-j} x_j \\ &= (1 - \lambda)x_i - \lambda(1 - \lambda)x_{i-1} - \cdots - \lambda(1 - \lambda)^{i-1} x_1; \quad (2.14) \\ i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Jika persamaan (2.14) dituliskan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (\mathbf{x} - \mathbf{y}) &= \begin{bmatrix} (x_1 - y_1)^T \\ (x_2 - y_2)^T \\ \vdots \\ (x_n - y_n)^T \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (1 - \lambda)x_1 \\ (1 - \lambda)x_2 - \lambda(1 - \lambda)x_1 \\ \vdots \\ (1 - \lambda)x_t - \lambda(1 - \lambda)x_{t-1} - \cdots - \lambda(1 - \lambda)^{n-1} x_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} 1-\lambda & 0 & \dots & 0 \\ -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1-\lambda)^{n-1} & \dots & -\lambda(1-\lambda) & 1-\lambda \end{bmatrix} \\
&= (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \tag{2.15}
\end{aligned}$$

$\mathbf{I}_n$ merupakan matrik identitas berukuran $n \times n$ yang dapat dituliskan,

$$\mathbf{I}_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan $\mathbf{M}$ adalah matrik segitiga bawah berukuran $n \times n$ dengan λ sebagai elemennya, dimana λ adalah pembobot yang telah ditetapkan.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & \dots & 0 \\ \lambda(1-\lambda) & \lambda & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda(1-\lambda)^{n-1} & \dots & \lambda(1-\lambda) & \lambda \end{bmatrix}$$

Persamaan (2.12) dapat juga dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_n = (\mathbf{X} - \mathbf{Y})^T \mathbf{C}(\mathbf{X} - \mathbf{Y}) \tag{2.16}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.15) ke dalam persamaan (2.16) maka dapat diperoleh,

$$\begin{aligned}
\mathbf{V}_n &= \mathbf{X}^T (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})^T \mathbf{C}(\mathbf{I}_n - \mathbf{M})\mathbf{X} \\
&= \mathbf{X}^T \mathbf{Q}\mathbf{X} \tag{2.17}
\end{aligned}$$

dimana $\mathbf{Q}$ adalah matriks bujur sangkar dengan ukuran $n \times n$

$$\mathbf{Q} = (\mathbf{I}_n - \mathbf{M})^T \mathbf{C}(\mathbf{I}_n - \mathbf{M})$$

$$= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix}; 1 \leq i; j \leq n$$

Dari persamaan (2.17) dapat dicari nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \text{tr}(\mathbf{X}^T \mathbf{Q} \mathbf{X}) \\ &= \text{tr}(\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}^T) \end{aligned} \quad (2.18)$$

dengan,

$$\begin{aligned} \mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}^T &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pn} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{n1} & \cdots & q_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{1k} & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{2k} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^p x_{1k} x_{nk} & \sum_{k=1}^p x_{2k} x_{nk} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{nk} x_{nk} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui,

$$\begin{aligned} \text{tr}(\mathbf{V}_n) &= \sum_{j=1}^n q_{1j} \left(\sum_{k=1}^p x_{1k} x_{jk} \right) + \sum_{j=1}^n q_{2j} \left(\sum_{k=1}^p x_{2k} x_{jk} \right) + \cdots + \sum_{j=1}^n q_{nj} \left(\sum_{k=1}^p x_{nk} x_{jk} \right) \\ &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right) \end{aligned} \quad (2.19)$$

Pada saat $p = 1$ maka persamaan $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ akan menjadi persamaan EWMV. Saat proses dalam keadaan terkendali dapat ditunjukkan dari nilai $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$.

$$\begin{aligned}
 E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \sum_{i=1}^n q_{ii} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2\right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n q_{ij} E\left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right) \\
 &= p \sum_{i=1}^n q_{ii} \\
 &= p \text{tr}(\mathbf{Q})
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Untuk mendapatkan batas kendali dari $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ maka harus didapatkan nilai $\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]$ terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
 \text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] &= \text{Var}\left[\sum_{i=1}^n q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j < i}^n q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right] \\
 &= \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 \text{Var}\left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2\right) + 4 \sum_{i=1}^n \sum_{j < i}^n q_{ij}^2 \text{Var}\left(\sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk}\right) \\
 &= 2p \sum_{i=1}^n q_{ii}^2 + 4p \sum_{i=1}^n \sum_{j < i}^n q_{ij}^2 \\
 &= 2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

Persamaan (2.18) akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap n dan batas diagram berdasarkan $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ yaitu.

$$E[\text{tr}(\mathbf{V}_n)] \pm L \sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_n)]} = p \text{tr}(\mathbf{Q}) \pm L \sqrt{2p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij}^2} \tag{2.22}$$

dimana L merupakan konstanta yang bergantung pada p (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai ω dan λ yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai batas diagram MEWMV dilakukan

melalui simulasi Monte Carlo dengan *Average Run Length* (ARL_0) 370 (Huwang et al, 2007).

2.3.3 Diagram Kendali *Multivariate Exponentially weighted Moving Average* (MEWMA)

Diagram Kendali MEWMA adalah diagram kendali yang digunakan untuk mendeteksi pergeseran *mean* proses yang kecil pada kasus multivariat. MEWMA merupakan pengembangan diagram kendali EWMA yang digunakan untuk mengontrol kualitas data univariat. Kelebihan dari diagram MEWMA adalah tahan atau *robust* terhadap asumsi distribusi normal, bila data tidak memenuhi asumsi distribusi normal multivariat maka diagram kendali MEWMA masih dapat digunakan (Montgomery, 2009). Perumusan diagram kendali MEWMA didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{Z}_i = \lambda \mathbf{X}_i + (1 - \lambda) \mathbf{Z}_{i-1} \quad (2.23)$$

Dimana nilai $0 < \lambda < 1$ dengan

$i = 1, 2, \dots, t$

$\mathbf{Z}_0 = 0$

t = banyaknya pengamatan yang dilakukan

λ = besarnya pembobot

Titik pengamatan yang akan diplot pada diagram kendali adalah

$$T_i^2 = \mathbf{Z}_i^T \sum_{\mathbf{Z}_i}^{-1} \mathbf{Z}_i \quad (2.24)$$

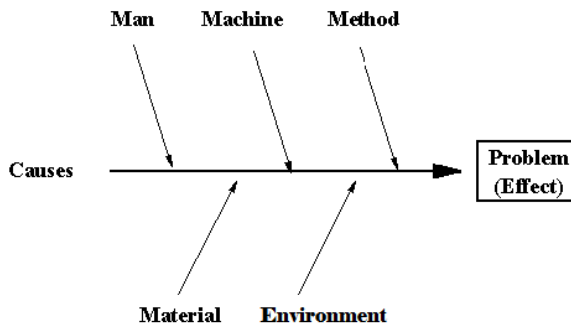
Setelah diperoleh diagram kendali dengan perhitungan data di atas, maka data dapat dikatakan *out of control* apabila terdapat $T_i^2 > h_4$. Nilai h_4 merupakan batas kendali atas yang didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya ARL hingga didapatkan nilai batas kendali atas yang konvergen. Batas kendali atas untuk diagram kendali MEWMA sama dengan 0 karena nilai T_i^2 yang selalu positif sehingga batas pengendali bawah (LCL) yang paling minimum dari suatu nilai yang positif adalah 0. Matriks kovarian $\mathbf{Z}_i$ adalah sebagai berikut.

$$\sum_{\mathbf{Z}_i} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \mathbf{I} \quad (2.25)$$

Matriks kovarian ini analog dengan varians pada data univariat EWMA (Montgomery, 2009).

2.4 Diagram Ishikawa

Diagram Ishikawa atau biasa dikenal dengan diagram sebab akibat atau diagram tulang ikan digunakan untuk mengidentifikasi akar permasalahan dari suatu proses produksi. Pada umumnya terdapat empat kategori yaitu *material*/bahan baku, mesin/peralatan, manusia dan metode. Inilah yang disebut “4M” yang merupakan penyebab. Setiap penyebab dikaitkan pada setiap kategori yang disatukan dalam tulang terpisah sepanjang cabang tersebut, seringkali hal ini dilakukan melalui *brainstorming*. Montgomery (2009) menyebutkan bahwa penyebab yang terjadi sering diakibatkan oleh lima elemen yaitu *Man*, *Methode*, *Machine*, *Material*, dan *Environment*. Dibawah ini merupakan contoh dari diagram ishikawa yang disebabkan oleh lima elemen tersebut.



Gambar 2.1 Contoh Diagram Ishikawa

2.5 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah suatu studi keteknikan guna menaksir kemampuan proses. Analisis kemampuan proses merupakan bagian yang sangat penting dari keseluruhan program peningkatan kualitas (Montgomery, 2009).

Proses dikatakan kapabel jika:

1. Dalam keadaan terkendali
2. Memenuhi batas spesifikasi
3. Tingkat presisi dan akurasi tinggi

Presisi adalah ukuran pendekatan antara suatu pengamatan dengan yang lain. Sedangkan akurasi adalah ukuran kedekatan pengamatan dengan nilai target dalam spesifikasi. Untuk mengetahui kapabel atau tidaknya suatu proses untuk karakteristik univariat dapat dilihat dari nilai C_p , C_{pk} , C_{pc} , C_{pkm} . Menurut *Automotive Industry Action Group* (AIAG) (1991), keempat indikator tersebut digunakan ketika proses dalam keadaan terkendali secara statistik. Sedangkan jika proses tidak terkendali secara statistik maka menggunakan indikator P_p dan P_{pk} . Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah sebagai berikut.

$$P_p = \frac{BSA - BSB}{6s} \quad (2.26)$$

$$P_{pu} = \frac{BSA - \bar{x}}{3s} \quad (2.27)$$

$$P_{pl} = \frac{\bar{x} - BSB}{3s} \quad (2.28)$$

$$P_{pk} = \min\{P_{pu}, P_{pl}\} \quad (2.29)$$

dimana,

BSA : Batas Spesifikasi Atas

BSB : Batas Spesifikasi Bawah

Indeks nilai kapabilitas multivariat dapat ditulis sebagai berikut (Raissi, 2009).

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p(X_k) \quad (2.30)$$

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk}(X_k) \quad (2.31)$$

dimana,

MP_p : Tingkat presisi data multivariat

MP_{pk} : Tingkat akurasi data multivariat

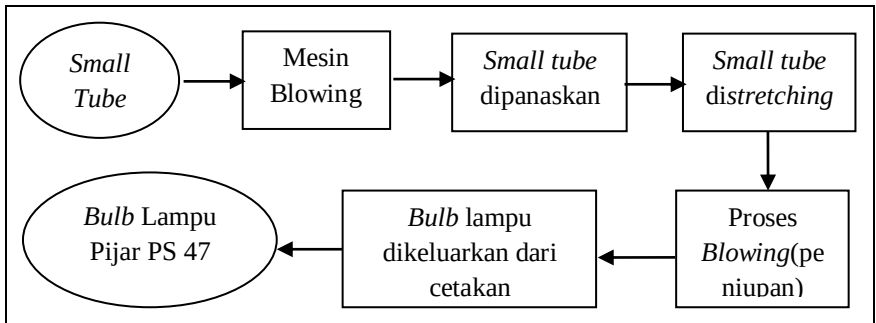
W_k merupakan pembobotan dengan $\sum_{k=1}^p W_k = 1$. Nilai W_k disesuaikan dengan pembobot karakteristik kualitas yang ditetapkan oleh perusahaan. Jika tidak ada pembobotan untuk masing-masing karakteristik kualitas maka nilai pembobot dianggap sama. Kriteria penilaian MP_p dan MP_{pk} yaitu apabila nilai yang didapatkan kurang dari 1 maka kinerja proses tidak bagus atau tidak kapabel secara multivariat, jika lebih dari 1 maka kinerja proses tersebut mutlak bagus atau kapabel.

2.6 Proses Produksi *Bulb* Lampu Pijar PS 47

Produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 di PT. Sinar Angkasa Rungkut dilakukan pada tahap awal proses pembuatan lampu. *Bulb* lampu pijar tipe PS 47 dilakukan di mesin blowing dimana bahan dasarnya adalah *small tube* atau tabung kecil berbahan kaca. Berikut merupakan proses pencetakan atau pembuatan *bulb* lampu pijar tipe PS 47.

1. *Small tube* dimasukkan kedalam mesin *blowing* dengan pengarah lubang
2. *Small tube* dipanaskan dan diinjeksikan kedalam kaviti dalam bentuk bakalan
3. *Small tube distretching* sesuai dengan dimensi yang digunakan
4. Udara ditiupkan (*blow*) sehingga *small tube* mengembang dan membentuk sesuai dengan cetakan lampu pijar tipe PS 47
5. Cetakan terbuka dan hasil dikeluarkan dari cetakan
6. Proses terus demikian hingga mesin diberhentikan

Selanjutnya hasil *bulb* lampu pijar PS 47 didistribusikan ke mesin Scalex (*Sealing and Exhausting*) untuk dirangkai dengan bagian lampu lainnya. Berikut merupakan diagram proses produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47.



Gambar 2.2 Proses Produksi *Bulb Lampu Pijar PS 47*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari departemen *Quality Control* PT. Sinar Angkasa Rungkut. Data yang digunakan merupakan data hasil pengukuran karakteristik kualitas *bulb* atau bola lampu pijar tipe PS 47 pada bulan September – November 2017. Pengukuran data yang dilakukan meliputi data rata-rata tebal leher minimum dan rata-rata diameter luar leher adalah sebagai karakteristik kualitas *bulb* lampu pijar. Sampel yang digunakan adalah data rata-rata proses produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 sebanyak 64 data pengamatan. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari pada saat akhir produksi sebanyak 13 *bulb* dan jumlah jam kerja adalah 8 jam tanpa adanya shift kerja.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan di PT. Sinar Angkasa Rungkut terdiri dari 2 variabel sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan Variabel	Definisi Operasional	Batas Spesifikasi	Satuan
X ₁	Rata-rata Tebal Leher Minimum	Tebal kaca pada bagian leher <i>bulb</i> lampu	Min 0.50	mm
X ₂	Rata-rata Diameter Luar Leher	Lebar lingkaran bagian luar pada leher <i>bulb</i> lampu	23.0 ± 0.5	mm

Hubungan antar variabel tebal leher dengan diameter luar leher pada pengukuran karakteristik kualitas *bulb* lampu pijar yaitu, jika tebal kaca pada bagian leher *bulb* semakin tebal maka diameter luar leher *bulb* akan semakin lebar sehingga akan

mempengaruhi proses pemasangan filamen dan *base* pada bagian leher lampu untuk menghasilkan lampu yang tidak berongga dan kedap udara.

3.3 Struktur Data

Berikut merupakan struktur data berdasarkan hasil monitoring kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 di PT. Sinar Angkasa Rungkut yang telah ditetapkan, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 3.2 Struktur Data Penelitian

Observasi ke-	Karakteristik Kualitas	
	X_1	X_2
1	0,810769	23,04612
2	0,755385	22,70769
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
64	0.719231	23,2

dengan,

X_1 = Rata-rata Tebal Leher Minimum

X_2 = Rata-rata Diameter Luar Leher

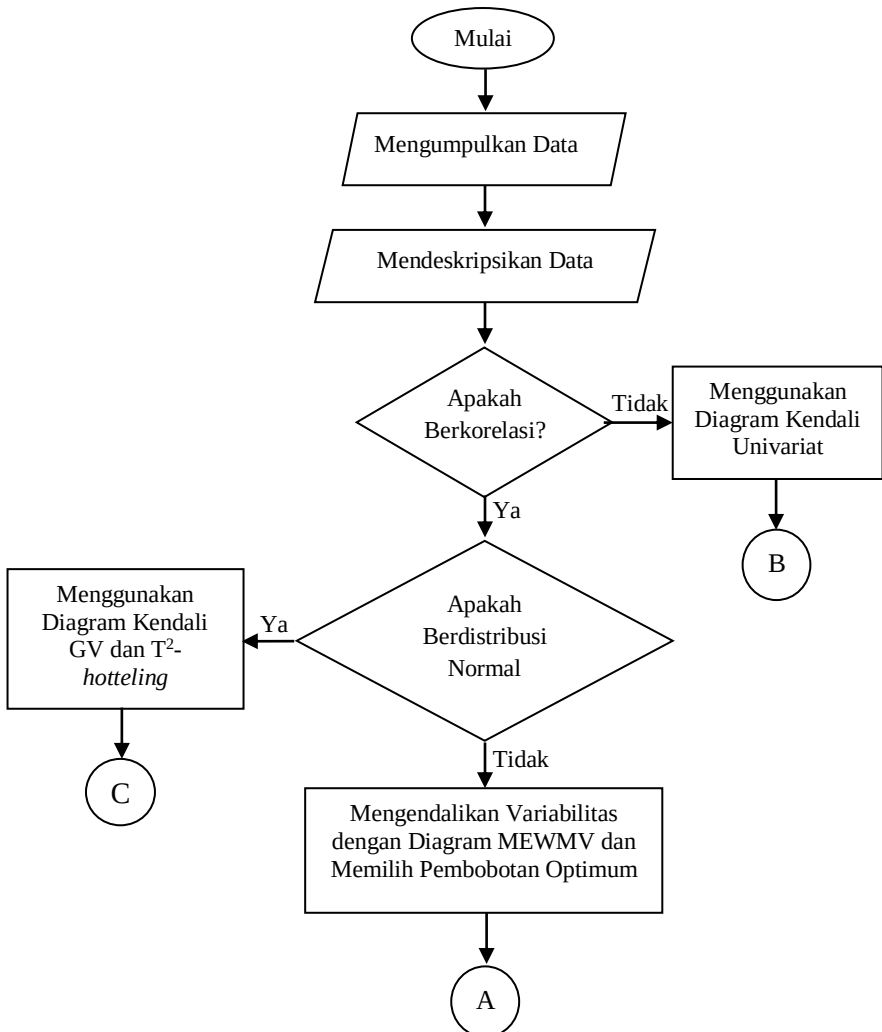
3.4 Langkah Analisis

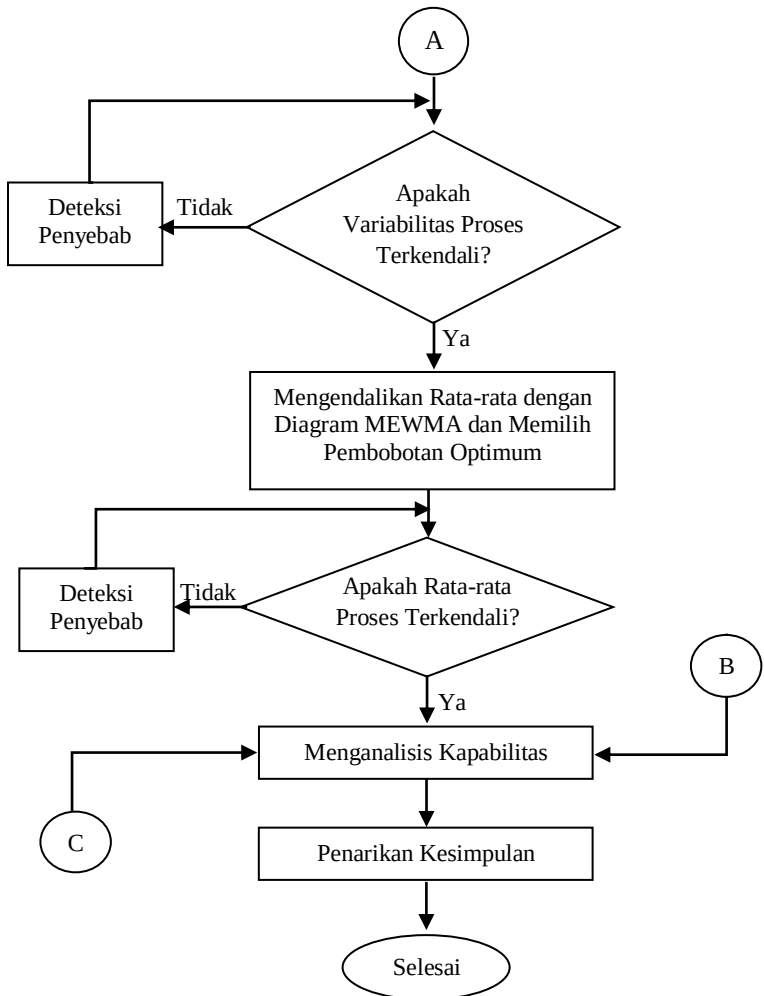
Langkah-langkah yang dikerjakan dalam pengendalian variabilitas dan rata-rata proses adalah sebagai berikut.

1. Mendefinisikan karakteristik masing-masing variabel.
2. Melakukan pengujian korelasi dan distribusi normal multivariat pada variabel kualitas pada proses pembuatan *bulb* lampu.
3. Melakukan pengendalian variabilitas dan rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMV dan MEWMA dan menetapkan pembobot optimal dengan langkah berikut.
 - a. Melakukan pengendalian variabilitas proses diagramkendali MEWMV dengan langkah berikut.
 1. Membuat matriks C dengan ukuran $n \times n$, dengan diagonal utama ω .

2. Membuat matriks $\mathbf{M}$ yang merupakan matriks segitiga bawah dengan elemennya λ .
3. Membuat matriks $\mathbf{I}_n$, merupakan matriks identitas berukuran $n \times n$.
4. Menghitung matriks $\mathbf{Q}$ yang digunakan untuk mendapatkan $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ sebagai matriks karakteristik kualitas yang akan dikendali.
5. Menghitung nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ berdasarkan persamaan (2.19)
6. Menghitung nilai $E(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$ berdasarkan persamaan (2.20)
7. Menghitung nilai $\text{Var}(\text{tr}(\mathbf{V}_n))$ berdasarkan persamaan (2.21)
8. Menghitung batas diagram kendali MEWMV pada setiap pengamatan ke- n berdasarkan persamaan (2.22)
- b. Melakukan pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA dengan langkah sebagai berikut.
 1. Menentukan nilai pembobot λ , $0 < \lambda < 1$ dengan h_4 yang sebelumnya telah ditentukan pada diagram kendali MEWMA.
 2. Menghitung vektor MEWMA $\mathbf{Z}_i$
 3. Menghitung matriks varian kovarian Σ
 4. Menghitung statistik MEWMA T_i^2
6. Mendeteksi variabel penyebab pengamatan *out of control*.
7. Mengidentifikasi penyebab terjadinya *out of control*.
8. Menganalisis kapabilitas proses.
9. Menarik kesimpulan.

Langkah analisis yang telah dijelaskan dapat digambarkan pada diagram alir berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

PT. Sinar Angkasa Rungkut merupakan salah satu produsen lampu terkemuka di Indonesia yang memproduksi lampu listrik dengan merek Chiyoda. Dalam menghadapi persaingan di dunia Industri Lampu, PT. Sinar Angkasa Rungkut berusaha untuk menghasilkan lampu dengan kualitas terbaik sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Salah satu penilaian kualitas pada lampu pijar tipe PS 47 adalah dengan melakukan pengukuran pada bagian leher *bulb* atau bolalampu. Jika *bulb* yang dihasilkan dapat kedap terhadap udara maka akan menghasilkan cahaya dengan sempurna karena dapat mengkonsentrasikan panas disekitar filamen. Adapun variabel karakteristik kualitas *bulb* yang digunakan adalah variabel tebal leher minimum dan variabel diameter luar leher yang saling memiliki hubungan antar variabel yaitu apabila kaca pada bagian leher *bulb* semakin tebal maka akan semakin sempit diameter luar leher *bulb*. Sehingga perlu adanya monitoring proses pada kedua pengukuran karakteristik kualitas lampu tersebut untuk meminimalisir terjadinya kecacatan. Monitoring proses pada penelitian kali ini dilakukan secara multivariat menggunakan diagram kontrol *Multivariat Exponentially Weighted Moving variance* (MEWMV) dan *Multivariat Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA).

4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas Lampu Pijar PS 47

Lampu pijar tipe PS 47 yang dapat dipasarkan adalah lampu yang telah memenuhi standar kualitas yang ditentukan oleh perusahaan. Untuk mencapai hal tersebut, tentunya setiap proses harus dikontrol, salah satunya adalah standar di setiap pengukuran pada *bulb* yaitu pengukuran rata-rata tebal leher minimum dengan batas spesifikasi $> 0,50$ mm dan pengukuran rata-rata diameter luar leher dengan batas spesifikasi $22,5 - 23,5$ mm. Untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik

kualitas pada periode September hingga November 2017 maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variabel	Mean	Varsians	Minimum	Maximum
Rata Tebal Leher Minimum (mm)	0,7502	0,004	0,57	0,85
Rata Diameter Luar Leher (mm)	22,9757	0,03	22,62	23,32

Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa rata-rata dari pengukuran rata-rata tebal leher minimum adalah 0,7502 mm. Jika dilihat dari nilai rata-rata tersebut, dapat dikatakan bahwa nilai ini masih berada di dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan perusahaan. Nilai minimum dari pengukuran rata-rata tebal leher minimum adalah sebesar 0,57 mm sedangkan untuk nilai maksimumnya adalah sebesar 0,85 mm, dimana nilai ini berada di dalam batas spesifikasi perusahaan. Jika dilihat dari varians yang dihasilkan sebesar 0,004 menandakan bahwa keragaman data nilai pengukuran rata-rata tebal leher minimum untuk produk lampu pijar tipe PS 47 periode September – November 2017 relatif kecil.

Nilai rata-rata dari pengukuran rata-rata diameter luar leher adalah sebesar 22,9757 mm sehingga masih berada di dalam batas spesifikasi perusahaan. Sedangkan untuk nilai minimum dan nilai maksimum pengukuran rata-rata diameter luar leher masing-masing sebesar 22,62 mm dan 23,32 mm, dimana nilai tersebut berada di dalam batas spesifikasi perusahaan. Nilai varians yang dihasilkan sebesar 0,03.

4.2 Pemeriksaan Dependensi antar Variabel

Pemeriksaan dependensi variabel dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat korelasi atau hubungan antar variabel secara statistik. Hal ini merupakan asumsi yang harus terpenuhi dalam monitoring proses secara multivariat bahwa variabel yang akan diamati memiliki korelasi atau saling dependen. Variabel penentu karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian

ini adalah pengukuran rata-rata tebal leher minimum dan pengukuran rata-rata diameter luar leher, sehingga untuk memeriksa apakah antar variabel tersebut saling dependen digunakan uji *Barlett*.

Berdasarkan persamaan (2.1) dengan tingkat signifikansi α sebesar 5% diperoleh hasil nilai *Chi-Square* sebesar 4,003 dan p -value sebesar 0,045. Dimana nilai *Chi-Square* yang diperoleh lebih besar dari nilai *Chi-Square* tabel yaitu 4,003 lebih besar dari 3,841, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua variabel tersebut saling dependen atau saling berhubungan. Hal ini juga dapat dilihat dari p -value yang dihasilkan sebesar 0,045, dimana nilai tersebut kurang dari α 5%.

4.3 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk kedua variabel penentu karakteristik kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap data sesuai dengan persamaan (2.4), didapatkan hasil nilai W sebesar 0,64558 dan p -value sebesar $2,89 \times 10^{-16}$. Dimana nilai W yang diperoleh cukup kecil dan p -value kurang dari α 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa data karakteristik kualitas *bulb* lampu pijar tipe PS 47 tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Pada penelitian ini digunakan diagram kendali MEWMV dan MEWMA, sehingga *robust* terhadap data yang tidak mengikuti distribusi normal multivariat.

4.4 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi *Bulb* Lampu Pijar Tipe PS 47

Diagram kendali *Multivariat Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) digunakan untuk memonitoring variabilitas proses pada variabel rata-rata tebal leher minimum dan rata-rata diameter luar leher. Dalam penelitian ini digunakan pembobot ω dan λ kurang antara 0.1 hingga 0.9 sehingga nantinya dapat ditentukan diagram yang paling sensitif dalam

mendeteksi variabilitas proses dari produk *bulb* lampu pijar tipe PS 47.

Pertama kali dilakukan monitoring variabilitas proses dengan menggunakan pembobot dengan nilai yang sama untuk tiap pasang ω dan λ , dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.2 Diagram Kendali MEWMV dengan Kombinasi ω dan λ yang Sama

ω	λ	L	Max Tr(Vn)	Titik Proses Mulai Stabil
0.1	0.1	2.8725	430.7439	55
0.2	0.2	3.4775	340.3408	25
0.3	0.3	3.8800	260.5735	15
0.4	0.4	4.1875	191.4417	11
0.5	0.5	4.4225	132.9456	8
0.6	0.6	4.6000	85.0852	6
0.7	0.7	4.7250	47.8604	5
0.8	0.8	4.8063	21.2713	4
0.9	0.9	4.4875	5.3178	3

Pada tahap awal pengendalian variabilitas proses dilakukan pembobotan dengan nilai yang sama pada tiap pasang ω dan λ , hal itu disebabkan karena selama ini belum pernah dilakukan pengendalian kualitas secara statistik di PT. Sinar Angkasa Rungkut. Oleh karena itu, sebagai langkah awal dilakukan pembobotan seperti pada Tabel 4.2 untuk mendapatkan pola plot $\text{tr}(\mathbf{Vn})$ pada diagram kendali MEWMV dari kombinasi pembobot tersebut. Selanjutnya dilakukan percobaan dengan mengkombinasikan salah satu nilai ω dengan salah satu nilai λ yang berbeda, dan didapatkan hasil sebagai berikut.

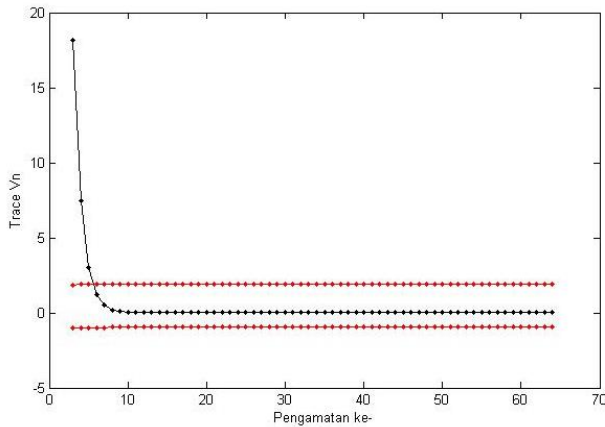
Tabel 4.3 Diagram Kendali MEWMV dengan Kombinasi ω dan λ Berbeda

ω	λ	L	Max Tr(Vn)	Titik Proses Mulai Stabil
0.2	0.8	3.5350	21.2713	21
0.4	0.6	4.2050	85.0852	10
0.7	0.3	4.7388	260.5735	8
0.9	0.1	4.8953	430.7439	20

Berdasarkan pada Tabel 4.2 dan 4.3, dapat disimpulkan bahwa nilai ω sangat memengaruhi kecepatan kestabilan proses, sebagai contoh dengan penggunaan $\omega = 0,2$, dapat dilihat baik pada kombinasi di Tabel 4.2 maupun 4.3, menunjukkan bahwa titik proses mulai stabil tidak terlalu jauh berbeda walaupun dengan kombinasi λ yang juga bernilai 0,2 ataupun bernilai 0,8. Hal tersebut berlaku pula untuk ω dengan nilai 0,4 dan 0,7. Sedangkan nilai λ memengaruhi titik $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ maksimal pada diagram kendali. Dapat dilihat pada Tabel 4.2 maupun 4.3, dengan nilai $\lambda = 0,8$ dan kombinasi nilai ω sebesar 0,8 dan 0,2, didapatkan nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ maksimal yang sama yaitu sebesar 21,2713. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai ω , kestabilan proses akan semakin cepat. Sedangkan jika semakin tinggi nilai λ , maka nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ maksimal akan semakin kecil.

Berdasarkan kombinasi pembobot ω dan λ yang telah dilakukan, maka pembobot yang paling memungkinkan untuk digunakan adalah dengan kombinasi nilai ω dengan λ sebesar 0.6 hingga 0.9. Hal tersebut dikarenakan atas pertimbangan kecepatan titik proses mulai stabil serta titik $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ terjauh dari batas kendali atas, yang tentunya berkaitan dengan resiko produsen.

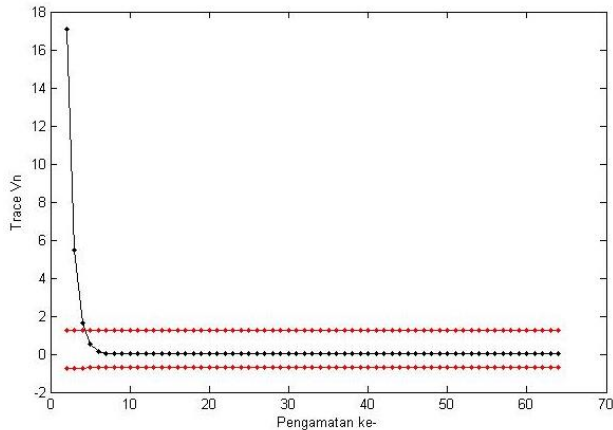
Nilai pembobot paling kecil yang disarankan untuk diagram kendali MEWMV adalah $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$. Hasil plot nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ dari diagram kendali MEWMV dengan $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$ disajikan dalam Gambar 4.1. Plot dari nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ pada Gambar 4.1 untuk masing-masing pengamatan yang didapatkan dari persamaan (2.19) menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{V}_n)$ yang bermula dari pengamatan ke-3, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Batas kendali dipengaruhi oleh nilai L yang dapat dilihat pada Lampiran D. Nilai L tersebut didapatkan berdasarkan kombinasi pembobot ω dan λ yang digunakan. Nilai L untuk $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$ sebesar 4,6000.



Gambar 4.1 Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$

Berdasarkan nilai pembobot dan L yaang digunakan didapatkan nilai batas kendali berdasarkan persamaan (2.22), dimana batas kendali atas (BKA) sebesar 1,8858 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar -0,9715. Nilai BKB yang bernilai negatif dianggap bernilai nol karena merupakan nilai positif yang paling minimum. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat 3 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas, namun penilaian proses produksi dilihat ketika proses mulai stabil yaitu pada pengamatan ke-4. Setelah pengamatan ke-4 tidak ada titik yang berada di luar batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik. Adanya nilai observasi yang keluar pada awal proses masih dapat dianggap wajar karena nilai tersebut merupakan keadaan dimana mesin menstabilkan proses yang terjadi setelah digunakan untuk memproduksi *bulb* tipe lain.

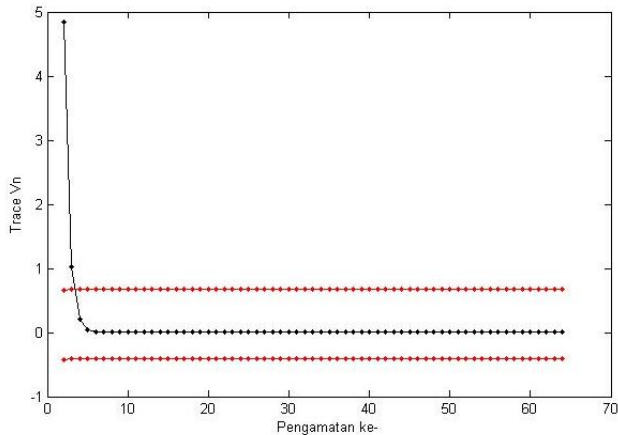
Monitoring stabilitas varians proses dengan diagram kendali MEWMV selanjutnya dilakukan dengan pembobot $\omega = 0,7$, $\lambda = 0,7$, dan $L = 4,7250$ dengan hasil diagram kendali dalam Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,7$

Batas kendali atas yang dihasilkan adalah 1,2727 sedangkan batas kendali bawah sebesar -0,7188. Nilai BKB yang bernilai negatif dianggap bernilai nol. Gambar 4.2 menunjukkan plot $tr(\mathbf{Vn})$ yang bermulai dari pengamatan ke-2, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Diagram kendali dengan pembobot ω dan λ sebesar 0,7, terdapat 4 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Namun baik buruknya proses dilihat ketika proses mulai stabil, setelah pengamatan ke-4 tidak ada titik yang berada di luar batas kendali atas maupun bawah, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik. Pembobot ini lebih baik dari sebelumnya karena menyebabkan kestabilan proses lebih cepat.

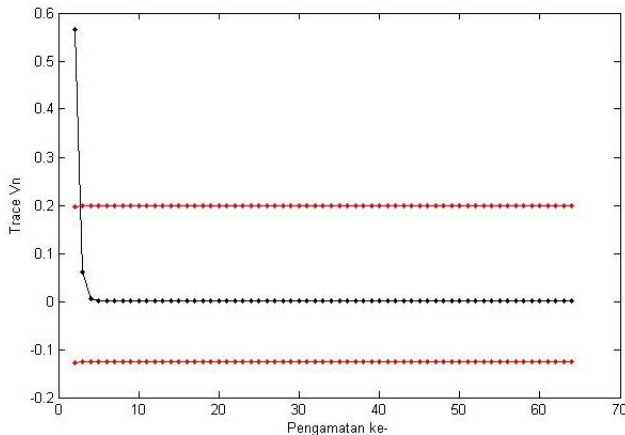
Selanjutnya juga dilakukan pengendalian variabilitas proses untuk pembobot $\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,8$ dengan $L = 4,8063$. Hasil pengendalian variabilitas dengan pembobot $\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,8$ memperoleh batas kendali atas sebesar 0,6732 dan batas kendali bawah -0.4065. Nilai batas kendali bawah yang bernilai negatif dianggap bernilai nol. Plot dari $tr(\mathbf{Vn})$ yang didapatkan berdasarkan persamaan (2.19) disajikan pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,8$

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat bahwa banyaknya pengamatan yang keluar batas atas ketika menggunakan pembobot $\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,8$ adalah sebanyak 3 pengamatan. Gambar 4.3 menunjukkan plot $tr(\mathbf{Vn})$ yang bermula dari pengamatan ke-2, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Proses mulai stabil pada pengamatan ke-4, ketika proses telah stabil tidak ada titik yang berada di luar batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik. Pembobot ini dianggap lebih baik dari dua pembobot sebelumnya, karena kestabilan prosesnya lebih cepat.

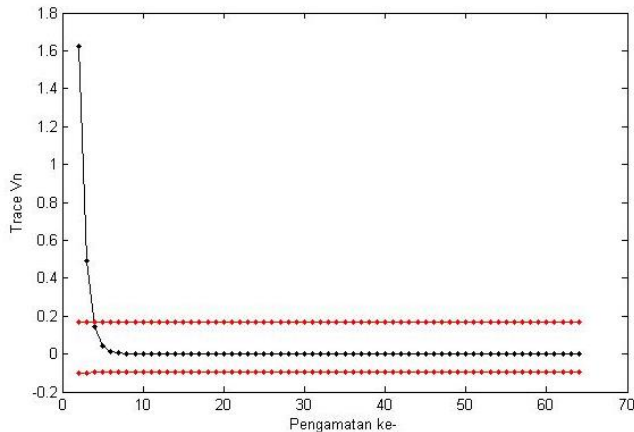
Selanjutnya adalah pengendalian variabilitas proses untuk pembobot ω dan λ masing-masing 0,9 dengan $L = 4,8475$. Dengan menggunakan pembobot dan L tersebut, diperoleh batas kendali atas sebesar 0,1990 sedangkan batas kendali bawah sebesar -0,1263. Nilai BKB yang bernilai negatif dianggap bernilai nol karena merupakan nilai positif yang paling minimum. Plot dari $tr(\mathbf{Vn})$ yang didapatkan disajikan pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,9$

Gambar 4.4 menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{Vn})$ yang bermulai dari pengamatan ke-2, lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran F. Diagram kendali dengan pembobot ω dan λ sebesar 0,9 terlihat bahwa hanya terdapat 2 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Namun baik buruknya proses dilihat ketika proses mulai stabil, setelah pengamatan ke-2 tidak ada titik yang berada di luar batas kendali atas maupun bawah, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik. Pembobot ini lebih baik dari sebelumnya karena menyebabkan kestabilan proses lebih cepat.

Selanjutnya adalah pengendalian variabilitas proses untuk pembobot $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$ dengan $L = 4,7100$. Berdasarkan pembobot dan nilai L yang digunakan, diperoleh batas kendali atas sebesar 0,1695 dan batas kendali bawah sebesar -0,0968. Nilai batas kendali bawah yang bernilai negatif dianggap bernilai nol. Plot dari $\text{tr}(\mathbf{Vn})$ yang didapatkan disajikan pada Gambar 4.5. Gambar tersebut menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{Vn})$ yang bermula dari pengamatan ke-2, proses mulai stabil setelah pengamatan ke-4. Ketika proses telah stabil tidak ada titik yang berada di luar batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses terkendali secara statistik.



Gambar 4.5 Diagram kendali MEWMV $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$

Selain keempat pembobot yang telah diuraikan sebelumnya, pengendalian variabilitas proses juga dilakukan untuk semua kombinasi nilai ω dan λ antara 0,7 hingga 0,9. Percobaan pengendalian variabilitas proses dengan pembobot lainnya dapat dilihat pada Lampiran F.

Pemilihan pembobot terbaik untuk mendeteksi adanya *out of control* dilakukan dengan mempertimbangkan adanya resiko produsen dan resiko konsumen. Dalam meminimumkan resiko produsen, pemilihan pembobot didasarkan padaselisih yang paling minimum dari $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_n) - \text{BKA}|$ yang menunjukkan error paling kecil. Semakin kecil selisihnya, maka kemungkinan suatu titik jatuh berada di luar batas kendali padahal tidak ada *assignable causes* akan lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Sedangkan untuk meminimumkan resiko konsumen, pemilihan pembobot didasarkan pada batas kendali yang semakin sempit. Semakin sempit batas kendali yang dihasilkan, kemungkinan suatu proses yang seharusnya tidak terkendali namun diidentifikasi sebagai proses yang terkendali akan semakin kecil, sehingga dapat meminimumkan resiko konsumen. Selain itu pembobot yang paling sensitif untuk mendeteksi adanya *out of control* lebih cepat juga menjadi pertimbangan perusahaan dalam

menentukan besarnya nilai pembobot optimal yang digunakan. Hasil perhitungan untuk menentukan pembobot yang paling optimum diberikan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal Untuk MEWMV

ω	λ	L	Max Tr (V_n)	BKA	Max Tr (V_n) - BKA	BKB	BKA- BKB	Titik Proses Mulai Stabil
0.6	0.6	4.6000	85.0852	1.8858	83.1994	-0.9715	2.8573	6
0.6	0.7	4.5975	47.8604	1.5117	46.3487	-0.5979	2.1096	6
0.6	0.8	4.6000	21.2713	0.5602	20.7111	-0.2935	0.8537	6
0.6	0.9	4.5975	5.3178	0.1544	5.1634	-0.0816	0.236	5
0.7	0.6	4.7450	85.0852	2.0934	82.9918	-1.1791	3.2725	5
0.7	0.7	4.7250	47.8604	1.2727	46.5877	-0.7188	1.9915	5
0.7	0.8	4.7225	21.2713	0.6173	20.654	-0.3506	0.9679	5
0.7	0.9	4.7100	5.3178	0.1695	5.1483	-0.0968	0.2663	4
0.8	0.6	4.8250	85.0852	2.2913	82.7939	-1.3770	3.6683	4
0.8	0.7	4.8188	47.8604	1.3933	46.4671	-0.8395	2.2328	4
0.8	0.8	4.8063	21.2713	0.6732	20.5981	-0.4065	1.0797	4
0.8	0.9	4.8004	5.3178	0.1846	5.1332	-0.1118	0.2964	4
0.9	0.6	4.8813	85.0852	2.4939	82.5913	-1.5797	4.0736	4
0.9	0.7	4.8725	47.8604	1.5124	46.348	-0.9586	2.471	3
0.9	0.8	4.8638	21.2713	0.7293	20.542	-0.4626	1.1919	3
0.9	0.9	4.8475	5.3178	0.1990	5.1188	-0.1263	0.3253	3

Hasil pada Tabel 4.4 diperoleh bahwa nilai $|\max \text{tr}(V_n) - \text{BKA}|$ yang paling minimum adalah 5,1188 yang didapatkan ketika $\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,9$ dengan selisish batas kendali sebesar 0,3253 dan proses mulai stabil pada pengamatan ke-3. Namun, selisish batas kendali atas dan batas kendali bawah terkecil yaitu 0,236 yang diperoleh ketika menggunakan pembobot $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,9$ dengan nilai $|\max \text{tr}(V_n) - \text{BKA}|$ sebesar 5,1634. Nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan nilai yang dihasilkan oleh pembobot sebelumnya dan proses mulai stabil pada pengamatan ke-5.

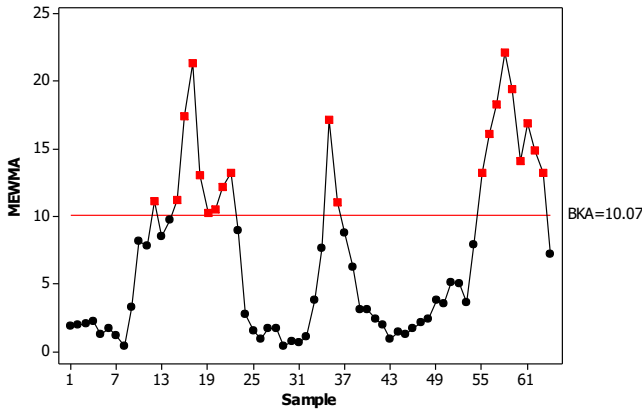
Jika digunakan pembobot $\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,9$ maka produk yang dihasilkan akan lebih beresiko pada konsumen, namun jika dengan pembobot $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,9$ juga akan lebih beresiko

pada produsen meskipun selisihnya tidak terlalu jauh. Oleh karena itu, dengan memerhatikan resiko produsen dan konsumen agar tidak saling merugikan satu sama lain, maka dapat disimpulkan bahwa pembobot yang paling optimal untuk mendeteksi adanya data *out of control* dengan lebih cepat adalah pembobot $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$ dengan nilai $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_n) - \text{BKA}|$ dan selisis batas kendali masing-masing sebesar 5,3178 dan 0,2663. Meskipun terdapat 3 titik awal yang berada di luar batas kendali, namun titik tersebut merupakan keadaan mesin sedang menstabilkan proses, sehingga kebaikan proses produksi dapat dinilai ketika prosesnya mulai stabil yaitu pada pengamatan ke-4.

4.5 Pengendalian Rata-rata Proses Produksi *Bulb* Lampu Pijar Tipe PS 47

Pengendalian rata-rata proses dilakukan dengan menggunakan diagram kendali MEWMA. Dimana titik yang diplot merupakan nilai yang sudah diboboti dengan pembobot yang telah ditentukan sebelumnya. Titik pengamatan tersebut biasa disimbolkan dengan T_i^2 yang didapatkan dari persamaan (2.24). Pembobot disimbolkan dengan λ , dimana nilai pembobot yang digunakan pada penelitian ini adalah 0,1 hingga 0,9 dengan jarak antar pembobot sebesar 0,1. Pemilihan pembobot tersebut, berkaitan dengan belum pernah dilakukan pengendalian kualitas statistik di PT. Sinar Angkasa Rungkut dengan metode diagram kendali MEWMA, sehingga sebagai langkah awal dilakukan percobaan dengan nilai λ yang telah disebutkan sebelumnya. Sama halnya dengan diagram kendali MEWMV, data yang digunakan merupakan data periode September - November 2017, sebanyak 64 data.

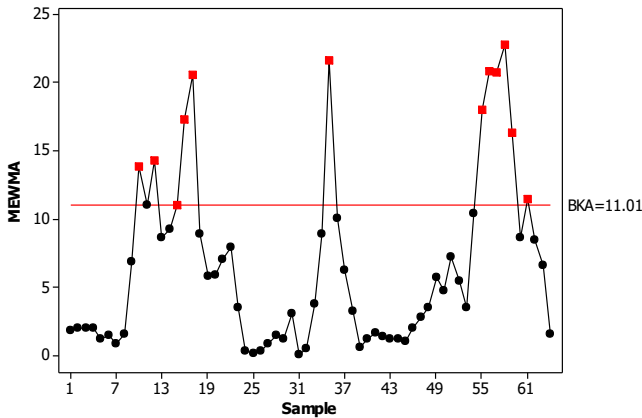
Percobaan pertama pada penelitian ini adalah dengan menggunakan nilai λ sebesar 0,1 dengan hasil pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,1$

Hasil analisis pengendalian rata-rata proses dengan menggunakan λ sebesar 0,1 diperoleh nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 10,07. Pada Gambar 4.6 tersebut terlihat bahwa pola titik pengamatan bergerak fluktuatif, selain itu masih banyak terdapat titik T_i^2 yang berada di luar batas kendali atas, yaitu sebanyak 20 titik dengan nilai T_i^2 tertinggi adalah sebesar 22,13. Sehingga rata-rata proses dapat dikatakan belum terkendali secara statistik.

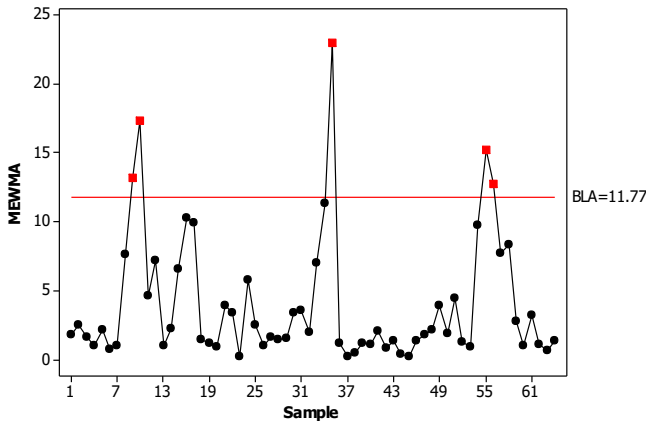
Selanjutnya dilakukan pengendalian rata-rata proses untuk $\lambda = 0,2$ untuk perbandingan pembobot sebelumnya. Pengendalian rata-rata proses menggunakan pembobot sebesar 0,2 menghasilkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 11,01. Nilai tersebut lebih besar dari pembobot sebelumnya, sehingga batas kendali pada diagram kendali ini lebih lebar dibanding batas kendali pada Gambar 4.6 yang menggunakan λ sebesar 0,1. Hasil diagram kendali MEWMA untuk pembobot $\lambda = 0,2$ disajikan pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4.7 Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,2$

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa titik pengamatan T_i^2 maksimum untuk pembobot ini adalah 22,84. Dengan menggunakan pembobot $\lambda = 0,2$, banyaknya titik T_i^2 yang mengalami *out of control* jauh lebih sedikit, yaitu sebanyak 12 pengamatan yang keluar dari batas kendali atas. Proses yang ditunjukkan pada diagram kendali MEWMA di Gambar 4.7, menunjukkan bahwa proses masih belum stabil dan masih terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali, sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik.

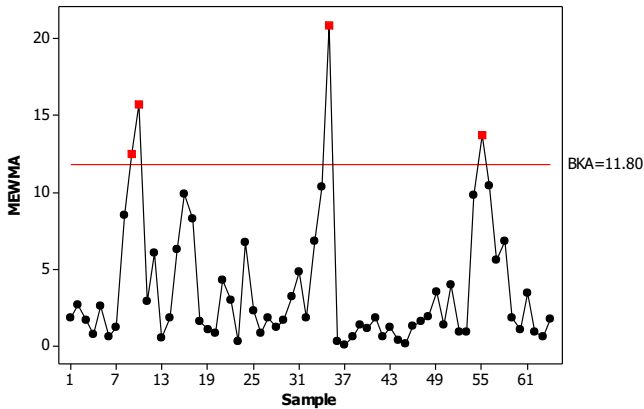
Selanjutnya dilakukan pengendalian rata-rata proses untuk $\lambda = 0,6$. Nilai batas kendali atas (BKA) yang dihasilkan diagram kendali MEWMA dengan pembobot λ sebesar 0,6 adalah sebesar 11,77. Dengan menggunakan nilai λ tersebut, didapatkan batas kendali yang lebih lebar dibanding batas kendali dengan λ sebesar 0,1 dan 0,2 sebelumnya. Berikut merupakan hasil diagram kendali MEWMA untuk pembobot λ sebesar 0,6.



Gambar 4.8 Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,6$

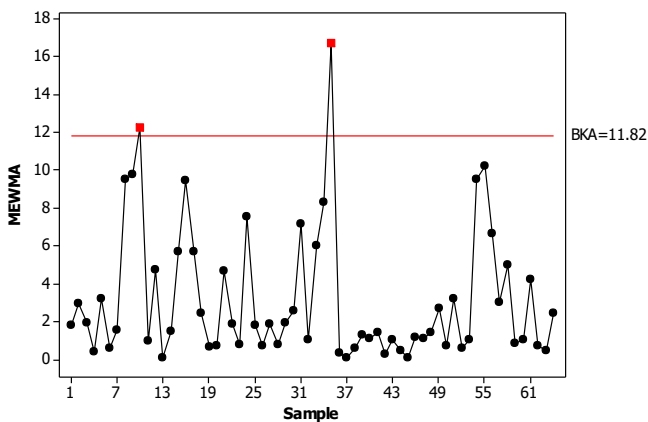
Berdasarkan Gambar 4.8 diperoleh bahwa titik pengamatan T_i^2 maksimum untuk pembobot $\lambda = 0,6$ adalah 23,02. Dengan menggunakan pembobot tersebut titik T_i^2 yang mengalami *out of control* berkurang menjadi 5 pengamatan. Sehingga proses yang ditunjukkan pada diagram kendali MEWMA di Gambar 4.8 masih menunjukkan proses yang belum stabil dan masih terdapat titik pengamatan yang keluar dari batas kendali, dan disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik.

Selanjutnya juga dilakukan pengendalian rata-rata proses untuk $\lambda = 0,7$ dengan hasil yang disajikan dalam diagram pada Gambar 4.9. Hasil analisis pengendalian rata-rata proses dengan menggunakan λ sebesar 0,7 diperoleh nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 11,80. Gambar 4.9 berikut menunjukkan bahwa pola titik pengamatan bergerak fluktuatif, selain itu masih banyak terdapat titik T_i^2 yang berada di luar batas kendali atas, namun telah berkurang dari sebelumnya yaitu sebanyak 4 titik dengan nilai T_i^2 tertinggi adalah sebesar 20,85. Sehingga rata-rata proses dapat dikatakan belum terkendali secara statistik dengan pembobot $\lambda = 0,7$.



Gambar 4.9 Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,7$

Selanjutnya juga dilakukan pengendalian rata-rata proses untuk $\lambda = 0,9$. Hasil pengendalian rata-rata proses dengan pembobot λ sebesar 0,9 disajikan dalam diagram pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Diagram kendali MEWMA $\lambda = 0,9$

Hasil pengendalian rata-rata proses dengan pembobot λ sebesar 0,9 diperoleh batas kendali atas yang lebih lebar dari

diagram kendali sebelumnya, yaitu sebesar 11,82. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terdapat titik pengamatan T_i^2 yang keluar dari batas kendali atas, yaitu sebanyak 2 titik, sehingga dapat disimpulkan bahwa proses tidak terkendali secara statistik. Titik pengamatan tertinggi untuk pembobot ini adalah 16,75. Nilai ini lebih rendah dibandingkan titik pengamatan maksimum dengan menggunakan pembobot-pembobot sebelumnya. Hasil pengendalian menggunakan pembobot ini sama seperti diagram kendali sebelumnya, dimana rata-rata proses belum terkendali secara statistik.

Selanjutnya dilakukan pengendalian kualitas dengan percobaan lainnya dengan beda antar pembobot sebesar 0,1 yang dapat dilihat secara rinci pada Lampiran G. Setelah dilakukan berbagai percobaan, maka dilakukan pemilihan pembobot terbaik. Pemilihan pembobot terbaik diperhitungkan dengan memerhatikan resiko produsen dan resiko konsumen. Resiko produsen dihitung dengan mencari selisih minimum dari titik pengamatan maksimum dan batas kendali atas (BKA) untuk masing-masing pembobot. Sedangkan resiko konsumen adalah dengan melihat lebarnya batas kendali, namun karena nilai batas kendali bawah selalu 0, maka lebar batas kendali merupakan nilai BKA dari diagram kendali MEWMA tersebut. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Nilai Pembobot Optimal untuk MEWMA

λ	BKA	Titik Maksimum	Selisih	Titik Out of Control
0,1	10.07	22.13	12.06	20
0,2	11.01	22.84	11.83	12
0,3	11.4	25.29	13.89	9
0,4	11.6	26.05	14.45	10
0,5	11.71	24.95	13.24	7
0,6	11.77	23.02	11.25	5
0,7	11.8	20.85	9.05	4
0,8	11.82	18.72	6.9	3
0,9	11.82	16.75	4.93	2

Pertimbangan pemilihan pembobot terbaik didasarkan pada lebarnya batas kendali serta minimumnya selisih titik maksimum dengan BKA. Semakin lebar batas kendali maka akan memperbesar resiko yang diperoleh oleh konsumen, sedangkan jika semakin besar selisih antara titik maksimum dengan BKA akan memperbesar resiko produsen. Berdasarkan hasil perhitungan selisih nilai titik maksimum dan batas kendali atas pada Tabel 4.5 dan pertimbangan dari resiko produsen dan konsumen, didapatkan bahwa pembobot optimal yang dianggap paling sensitif untuk pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA adalah 0,9. Nilai batas kendali atas dengan $\lambda = 0,9$ adalah sebesar 11,82 dimana nilai ini tidak jauh berbeda dengan batas atas terkecil. Selisih antara titik pengamatan maksimum dan batas kendali atas yang menunjukkan kecilnya resiko produsen dengan $\lambda = 0,9$ yaitu 4,93 dimana nilai ini merupakan selisih terkecil diantara pembobot-pembobot yang lain. Hasil pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMA dengan pembobot 0,9 pada data produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 memberikan kesimpulan bahwa rata-rata proses belum terkendali secara statistik karena masih terdapat dua titik yang berada di luar batas kendali.

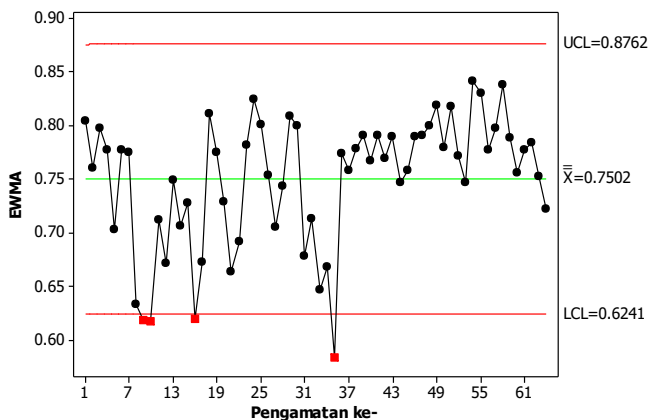
4.6 Identifikasi Penyebab *Out of Control*

Nilai pembobot yang dianggap paling optimum untuk mendeteksi dengan lebih cepat data *out of control* pada diagram kendali MEWMV yaitu $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$ sedangkan pada diagram kendali MEWMA digunakan pembobot $\lambda = 0,9$. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa diagram kendali MEWMV menunjukkan proses dalam kondisi telah terkendali secara statistik, sedangkan diagram kendali MEWMA menunjukkan proses dalam kondisi tidak terkendali secara statistik. Sehingga perlu dilakukan identifikasi penyebab terjadinya proses tidak terkendali tersebut dengan melakukan pengendalian kualitas secara individu terhadap masing-masing

variabel karakteristik kualitas serta melakukan analisis diagram *ishikawa*.

4.6.1 Pengendalian Kualitas Secara Individu

Pengendalian kualitas secara individu menggunakan diagram kendali EWMA dilakukan untuk mengetahui variabel utama penyebab terjadinya data *out of control* secara multivariat. Dengan menggunakan pembobot yang sama pada diagram kendali MEWMA maka dilakukan pengendalian kualitas individu untuk masing-masing variabel karakteristik kualitas. Pengendalian menggunakan diagram kendali EWMA pertama kali dilakukan pada variabel tebal leher minimum dengan hasil pada Gambar 4.11 berikut.

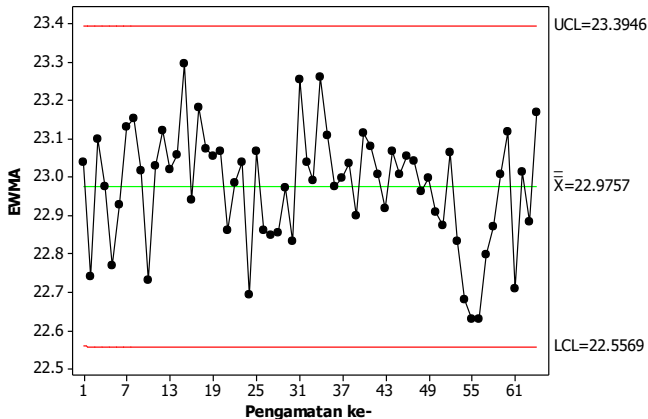


Gambar 4.11 Diagram Kendali EWMA Variabel Rata Tebal Leher Minimum

Berdasarkan Gambar 4.11 diketahui bahwa nilai batas kendali atas sebesar 0,8762 dan batas kendali bawah sebesar 0,6241. Dengan menggunakan nilai pembobot yang sama dengan diagram kendali MEWMA pada tahap sebelumnya, yaitu $\lambda = 0,9$ diperoleh *grand mean* sebesar 0,7502 dimana terdapat 4 data yang *out of control*. Seginngga dapat disimpulkan bahwa diagram

kendali pada Gambar 4.11 untuk *mean* proses variabel rata tebal leher minimum tidak terkendali secara statistik.

Selanjutnya juga dilakukan monitoring *mean* proses pada variabel rata-rata diameter luar leher yang disajikan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Diagram Kendali EWMA Variabel Rata Diameter Luar Leher

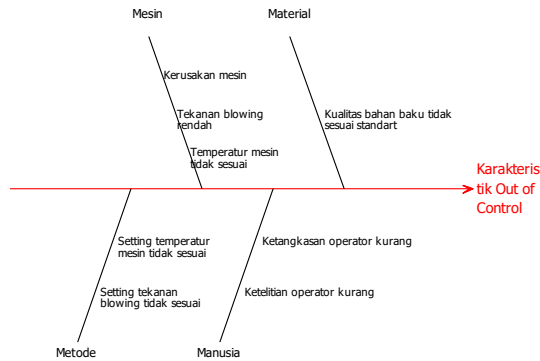
Gambar 4.12 menunjukkan bahwa *mean* proses untuk variabel rata diameter luar leher telah terkendali secara statistik, terlihat bahwa tidak ada data pengamatan yang *out of control* dari batas kendali diagram. Dengan menggunakan pembobot yang sama diperoleh batas kendali atas sebesar 23,3946 dan batas kendali bawah sebesar 22,5569 serta *grand mean* sebesar 22,9757.

Berdasarkan hasil dari kedua diagram kendali EWMA pada masing-masing variabel karakteristik kualitas, diketahui bahwa variabel rata tebal leher minimum tidak terkendali secara statistik yang terlihat dari adanya pengamatan yang *out of control*. Namun untuk variabel rata diameter luar leher telah terkendali secara statistik karena semua pengamatan berada didalam batas kendali diagram. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel rata tebal leher minimum merupakan penyebab utama pengamatan multivariat keluar dari batas kendali.

4.6.2 Analisis Diagram Ishikawa

Berdasarkan *brainstorming* yang telah dilakukan dengan pihak produksi, kesalahan terbesar yang menjadi penyebab adanya proses tidak terkendali adalah pada faktor mesin, yaitu temperatur mesin yang tidak sesuai sehingga menyebabkan pemanasan material yang tidak sempurna, selain itu juga tekanan *blowing* rendah yang menyebabkan *bulb* tidak tercetak sesuai dengan bentuknya. Kerusakan mesin juga menjadi salah satu penyebab *bulb* tidak sesuai spesifikasi. Oleh karena itu perlu adanya pengontrolan dan perawatan mesin secara berkala agar dapat memproduksi secara maksimal dan produk yang dihasilkan sesuai dengan target perusahaan. Faktor material juga menjadi penyebab proses tidak terkendali, dimana kualitas bahan baku yang kurang baik akan mempengaruhi kualitas *bulb* yang dihasilkan sehingga bahan baku yang sesuai standart perusahaan juga perlu diperhatikan.

Faktor lain yang menjadi penyebab terjadinya *bulb* cacat adalah faktor manusia, dimana suatu mesin dapat bekerja berkat adanya operator yang mengoperasikan. Sehingga ketrampilan dan ketelitian seorang operator sangat dibutuhkan untuk menunjang kebaikan kinerja mesin. Operator yang sering mengabaikan tekanan dan temperatur mesin merupakan salah satu penyebab dari adanya kualitas yang tidak terkendali. Hal tersebut menunjukkan bahwa operator tidak teliti dalam melakukan *setting* mesin. Faktor lainnya yang juga menjadi penyebab cacat adalah faktor metode, kesalahan dalam *setting* tekanan dan temperatur mesin akan berdampak pada proses pembentukan *bulb* menjadi tidak sempurna. Penyebab dari adanya karakteristik kualitas yang berada di luar batas kendali ditunjukkan pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.13 Diagram Ishikawa Proses Produksi *Bulb* Lampu Pijar PS 47

Berdasarkan penelusuran penyebab adanya proses yang tidak terkendali, perusahaan perlu melakukan beberapa perbaikan agar proses dapat berjalan lebih baik sehingga kualitas produk dapat sesuai target dengan variabilitas yang kecil. Perlu dilakukan pengontrolan dan perawatan mesin secara berkala agar dapat meningkatkan performansi mesin serta mengurangi terjadinya tekanan dan temperatur mesin yang tidak sesuai. Pengontrolan terhadap jenis bahan baku perlu diperhatikan, agar tidak terjadi penurunan kualitas pada bahan baku. Serta pelatihan kepada operator untuk meningkatkan ketrampilan dan ketelitian dalam mengoperasikan mesin juga perlu diadakan, sehingga mengurangi terjadinya *setting* mesin yang salah yang akan berdampak pada kualitas *bulb* yang dihasilkan.

4.7 Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses digunakan untuk mengetahui kinerja proses secara keseluruhan yang diukur dari keseragaman produk yang dihasilkan. Suatu proses dikatakan kapabel adalah ketika produk yang dihasilkan berada dalam batas spesifikasi yang telah ditentukan. Indeks penelitian yang digunakan untuk mengukur kapabilitas proses dalam penelitian ini adalah P_p dan P_{pk} jika terdapat dua batas spesifikasi dari variabel karakteristik

kualitas. Sedangkan apabila hanya terdapat satu batas spesifikasi pada variabel karakteristik kualitas, indeks yang digunakan adalah P_{pk} . Hal ini dikarenakan proses dalam kondisi tidak terkendali secara statistik. Ketika masing-masing nilai tersebut lebih dari satu maka dapat disimpulkan bahwa proses telah kapabel.

Perhitungan kapabilitas proses pada penelitian ini dilakukan secara univariat dan multivariat, dimana perhitungan secara univariat dilakukan untuk mengukur kapabilitas proses untuk masing-masing karakteristik tebal leher minimum dan diameter luar leher. Berdasarkan persamaan (2.26) dan (2.29), diperoleh hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara univariat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Kapabilitas Proses Secara Univariat

Variabel	P_p	P_{pk}
Rata-rata Tebal Leher Minimum	-	1.31
Rata-rata Diameter Luar Leher	1.02	0.97

Indeks P_p dalam kapabilitas hanya menggambarkan presisi proses, sedangkan indeks P_{pk} menggambarkan akurasi dan presisi proses. Berdasarkan hasil perhitungan kapabilitas proses secara univariat yang ditampilkan pada Tabel 4.6, untuk variabel karakteristik kualitas rata-rata tebal leher minimum, didapatkan nilai P_{pk} sebesar 1,31 yang berarti bahwa proses memiliki akurasi yang baik. Sedangkan untuk variabel karakteristik rata-rata diameter luar leher didapatkan nilai P_p dan P_{pk} masing-masing sebesar 1,02 dan 0,97 yang berarti bahwa proses memiliki presisi yang baik namun akurasi kurang baik karena nilai P_{pk} kurang dari 1.

Perhitungan P_p dan P_{pk} dilanjutkan secara multivariat, dimana kapabilitas dihitung bersama-sama untuk variabel karakteristik kualitas rata-rata tebal leher minimum dan rata-rata diameter luar leher. Perhitungan secara multivariat dapat dilakukan berdasarkan persamaan (2.31) dengan hasil sebagai berikut.

$$MP_{pk} = (0.5 \times 1.31) + (0.5 \times 0.97) = 1.14$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat didapatkan nilai MP_{pk} sebesar 1,14, dimana nilai ini lebih besar dari satu yang menandakan bahwa kinerja proses secara multivariat telah kapabel atau memiliki tingkat presisi dan akurasi proses yang cukup baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan pembobot $0,1 \leq \omega \leq 0,9$ dan $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$ variabilitas proses produksi terkendali secara statistik dengan pembobot optimum $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$. Sedangkan dengan menggunakan pembobot $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$ rata-rata proses produksi *bulb* lampu pijar tipe PS 47 belum terkendali secara statistik dengan pembobot optimum $\lambda = 0,9$. Hal ini dikarenakan pada diagram kendali MEWMA masih terdapat titik yang *out of control*. Adapun hasil identifikasi *out of control* menunjukkan bahwa variabel utama penyebab terjadi *out of control* pada *mean* proses adalah rata tebal leher minimum.

Hasil perhitungan kapabilitas proses menunjukkan bahwa secara multivariat kinerja proses terhadap ukuran tebal leher minimum dan diameter luar leher telah kapabel karena nilai indeks kinerja proses MP_{pk} lebih dari satu yaitu sebesar 1,14.

5.2 Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melanjutkan dengan menambahkan fase 2, agar dapat dilakukan evaluasi serta pengontrolan proses selanjutnya.
2. Penerapan diagram kendali MEWMV dan MEWMA diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk pengendalian proses produksi secara statistik selain hanya memperhatikan produk yang memenuhi batas spesifikasi yang ditentukan. Dengan memerhatikan resiko produsen dan konsumen, maka dapat disarankan bahwa pembobot yang paling optimal untuk mendeteksi adanya data *out of control* pada diagram kendali MEWMV adalah dengan pembobot $\omega = 0,7$ dan $\lambda =$

- 0,9. Sedangkan pembobot optimal yang disarankan untuk diagram kendali MEWMA adalah $\lambda = 0,9$.
3. Perusahaan perlu lebih memperhatikan ukuran ketebalan leher minimum *bulb* lampu pijar tipe PS 47 dengan melakukan pembaruan terhadap alat ukur yang digunakan untuk memperoleh ukuran ketebalan yang sesuai sehingga dapat meminimalisir terjadinya produk cacat pada lampu PS 47 yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anky, A. M. (2017). *Analisis Kapabilitas Proses Ex-Mixer pada Produk BR 1 SP Crumble di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aziliya, D. (2017). *Ketersediaan Daya Listrik dan Properti Topang Permintaan Lampu 2017*. Dipetik Februari 18, 2018, dari <http://industri.bisnis.com/read/20170301/257/632751/ketersediaan-daya-listrik-dan-properti-topang-permintaan-lampu-2017>
- Garvin, D. (2001). *Managing Quality*. Harvard: Harvard Business School.
- Huwang, L., Yeh, A. B., & Chien-Wei. (2007). Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observation. *Journal of Quality Industry*, 39, 258-278.
- Jonhson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis (6th ed.)*. USA: Pearso Education Inc.
- Lowry, C. A., Champ, C. W., & Rigdon, S. E. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Kendali Chart. *Technometrics*, 34, 46-53.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Kendali (6th ed.)*. USA: John Wiley Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (1990). *Multivariate Statistical Methods (3rd ed)*. USA: McGraw-Hill, Inc.
- Novitasari, D. (2016). *Pengendalian Kualitas Produk Pakan Ternak di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Raissi, S. (2009). Multivariate Process Capability Indices on the Presence of Priority for Quality Characteristics. *Jurnal of Industrial Engineering International*, 5.
- Shapiro, S. S. & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 52 (3–4), pp 591–611.
- Wahyudi, M. Z. *Evolusi Sebuah Bola Lampu*. (23 Oktober 2014). Kompas [On-line]
- Walpole, R. E. (1995). *Pengantar Statistika Edisi Ke-3*, Alih Bahasa: Sumantri, B. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Widiastuti, I. A. (2016). *Analisis Pengendalian Kualitas pada Proses Produksi Lampu Pijar di PT. Lucolite Cemerlang Berdasarkan Metode Six Sigma*. Sutabaya: Universitas Airlangga.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Ukuran Kualitas *Bulb* Lampu Pijar PS 47

No	Rata-rata TebalLeher Minimum	Rata-rata Diameter Luar Leher
1	0.810769	23.04615
2	0.755385	22.70769
3	0.801538	23.13846
4	0.775385	22.96154
5	0.695385	22.74615
6	0.786154	22.94615
7	0.774615	23.15385
8	0.617692	23.15385
9	0.616923	23
10	0.617692	22.7
11	0.722308	23.06154
12	0.666923	23.13077
13	0.758462	23.00769
14	0.701538	23.06154
15	0.73	23.32308
16	0.607692	22.9
17	0.679231	23.20769
18	0.826154	23.06154
19	0.771538	23.05385
20	0.723846	23.06923
21	0.656154	22.83846
22	0.695385	23
23	0.792308	23.04615
24	0.829231	22.65385

25	0.798462	23.10769
26	0.748462	22.83846
27	0.7	22.84615
28	0.747692	22.85385
29	0.816154	22.98462
30	0.799231	22.81538
31	0.664615	23.3
32	0.716923	23.01538
33	0.639231	22.98462
34	0.670769	23.29231
35	0.573846	23.09231
36	0.795385	22.96154
37	0.756154	23
38	0.780769	23.03846
39	0.792308	22.88462
40	0.764615	23.13846
41	0.793846	23.07692
42	0.766923	23
43	0.791538	22.90769
44	0.742308	23.08462
45	0.759231	23
46	0.793846	23.06154
47	0.791538	23.03846
48	0.801538	22.95385
49	0.821538	23
50	0.775385	22.9
51	0.822308	22.86923
52	0.766154	23.08462
53	0.744615	22.80769
54	0.851538	22.66154

55	0.829231	22.62308
56	0.771538	22.63077
57	0.8	22.81538
58	0.842308	22.87692
59	0.783077	23.02308
60	0.752308	23.13077
61	0.78	22.66154
62	0.785385	23.04615
63	0.749231	22.86923
64	0.719231	23.2

Lampiran B. Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

```
>Multivariat=read.table("D:/Data TA.txt",header=T)
>c <- t(Multivariat[1:64,1:2])
>library(mvnormtest)
>mshapiro.test(c)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: c

W = 0.64558, p-value = 3.891e-16

Lampiran C. Pengujian Dependensi antar Variabel

KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.500
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	4.002
	Df	1
	Sig.	.045

Lampiran D.Tabel Nilai L dengan $p=2$

ω	λ	L	ω	λ	L	ω	λ	L
0.1	0.1	2.8725	0.4	0.1	4.1625	0.7	0.1	4.7281
	0.2	2.8738		0.2	4.1675		0.2	4.7313
	0.3	2.8800		0.3	4.1788		0.3	4.7288
	0.4	2.8838		0.4	4.1875		0.4	4.7325
	0.5	2.8900		0.5	4.1900		0.5	4.7350
	0.6	2.8975		0.6	4.2050		0.6	4.7450
	0.7	2.9038		0.7	4.2088		0.7	4.7250
	0.8	2.9138		0.8	4.2150		0.8	4.7225
	0.9	2.9238		0.9	4.2250		0.9	4.7100
0.2	0.1	3.4725	0.5	0.1	4.4000	0.8	0.1	4.8313
	0.2	3.4775		0.2	4.4000		0.2	4.8281
	0.3	3.4850		0.3	4.4050		0.3	4.8313
	0.4	3.4975		0.4	4.4150		0.4	4.8313
	0.5	3.5075		0.5	4.4225		0.5	4.8359
	0.6	3.5175		0.6	4.4225		0.6	4.8250
	0.7	3.5275		0.7	4.4300		0.7	4.8188
	0.8	3.5350		0.8	4.4350		0.8	4.8063
	0.9	3.5394		0.9	4.4350		0.9	4.8004
0.3	0.1	3.8675	0.6	0.1	4.5875	0.9	0.1	4.8953
	0.2	3.8725		0.2	4.5925		0.2	4.8900
	0.3	3.8800		0.3	4.5875		0.3	4.8900
	0.4	3.8850		0.4	4.5938		0.4	4.8900
	0.5	3.9000		0.5	4.6013		0.5	4.8950
	0.6	3.9100		0.6	4.6000		0.6	4.8813
	0.7	3.9213		0.7	4.5975		0.7	4.8725
	0.8	3.9325		0.8	4.6000		0.8	4.8638
	0.9	3.9413		0.9	4.5975		0.9	4.8475

Lampiran E. Program Diagram Kendali MEWMV

```

X = importdata('D:\GKP.txt');
omega=0.2;
lamda=0.4;
p=2;
L=3.4975;
[brsX,klmX]=size(X);
t=brsX;
I=eye(t);
for i=1:t
    elemen(i)=lamda*(1-lamda)^(i-1);
end
for i=1:t
    for j=1:t
        if i<j
            M(i,j)=0;
        else
            for l=i:t
                M(l,j)=elemen(l-j+1);
            end
        end
    end
end
end
A=X*X';
for u=1:brsX
    Apartu=A(1:u,1:u);
    Ipartu=I(1:u,1:u);
    Mpartu=M(1:u,1:u);
    elemenC=[];
    for i=1:u
        if i>1
            elemenC(i)=omega*(1-omega)^(u-i);
        else
            elemenC(i)=(1-omega)^(u-i);
        end
    end
end

```

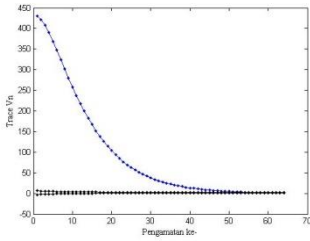
Lampiran E. ProgramDiagram Kendali MEWMV (Lanjutan)

```

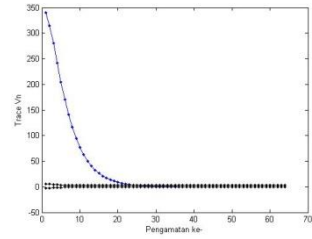
End
C=diag(elemenC);
Q=(Ipartu-Mpartu)*C*(Ipartu-Mpartu);
trv(u)=trace(Q*Apartu);
ekspektasi(u)=p*trace(Q);
Q2=Q.^2;
sumQ2=sum(sum(Q2));
var(u)=2*p*sumQ2;
ba=ekspektasi+(L*sqrt(var));
bb=ekspektasi-(L*sqrt(var));
end
trvpartial=trv(:,1:t);
ekspekpartial=ekspektasi(:,1:t);
varpartial=var(:,1:t);
bapartial=ba(:,1:t);
bbpartial=bb(:,1:t);
keluar=0;
d=0;
for i=1:t-1
if trvpartial(i)<bbpartial(i)
keluar=keluar+1
d=d+1
yangkeluar(d)=i;
end
if trvpartial(i)>bapartial(i)
keluar=keluar+1
d=d+1
yangkeluar(d)=i;
end
end
x=1:t;
plot(x,trvpartial,'b.-',x,bapartial,'k.-',x,bbpartial,'k.-');
xlabel('Pengamatan ke-')
ylabel('Trace Vn');

```

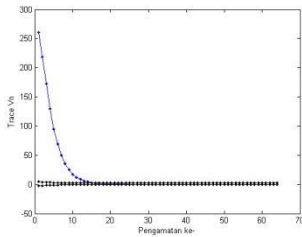
Lampiran F. Diagram Kendali MEWMV



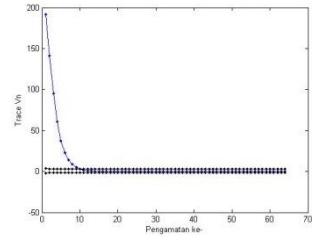
$\omega = 0,1$ dan $\lambda = 0,1$



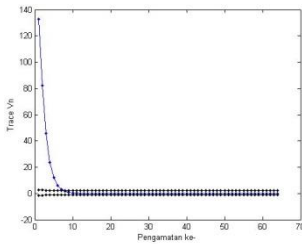
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,2$



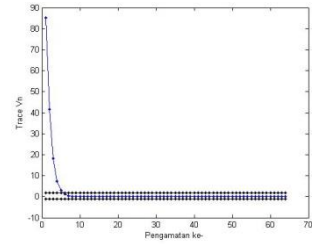
$\omega = 0,3$ dan $\lambda = 0,3$



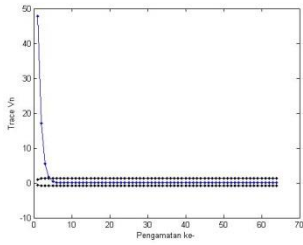
$\omega = 0,4$ dan $\lambda = 0,4$



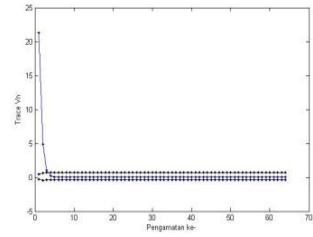
$\omega = 0,5$ dan $\lambda = 0,5$



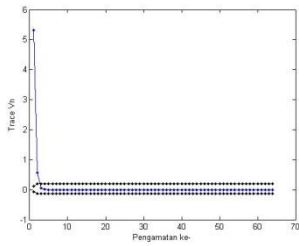
$\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$



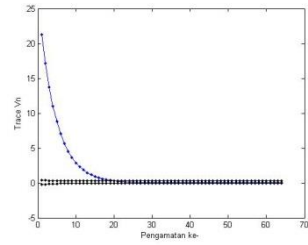
$$\omega = 0,7 \text{ dan } \lambda = 0,7$$



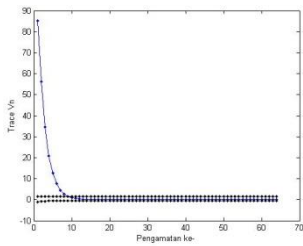
$$\omega = 0,8 \text{ dan } \lambda = 0,8$$



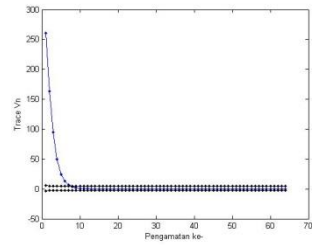
$$\omega = 0,9 \text{ dan } \lambda = 0,9$$



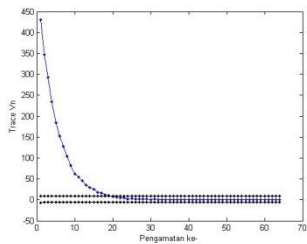
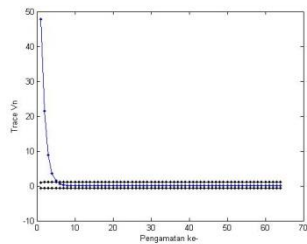
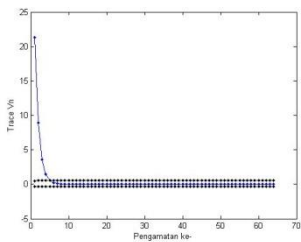
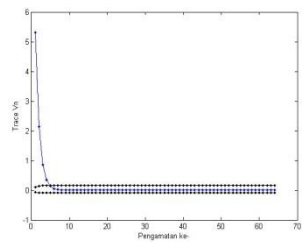
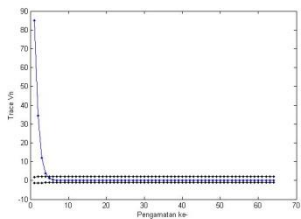
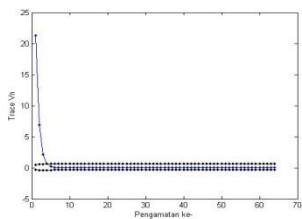
$$\omega = 0,2 \text{ dan } \lambda = 0,8$$

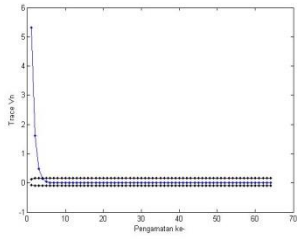


$$\omega = 0,4 \text{ dan } \lambda = 0,6$$

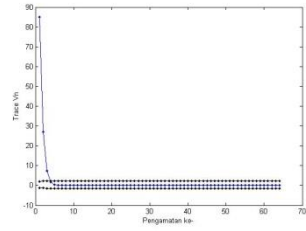


$$\omega = 0,7 \text{ dan } \lambda = 0,3$$

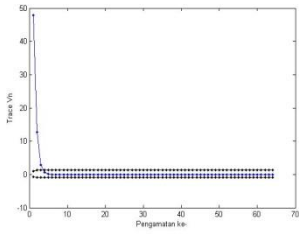

 $\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,1$

 $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,7$

 $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,8$

 $\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,9$

 $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,6$

 $\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,8$



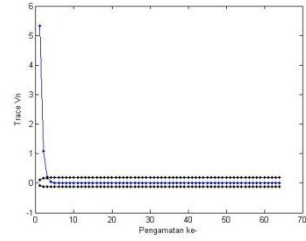
$\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,9$



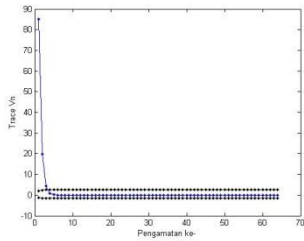
$\omega = 0,8$ dan $\lambda 0,6$



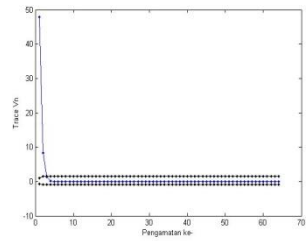
$\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,7$



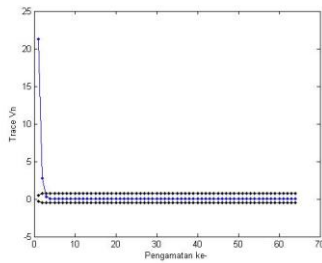
$\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,9$



$\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,6$

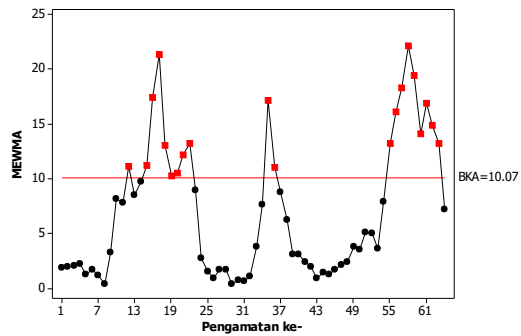


$\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,7$

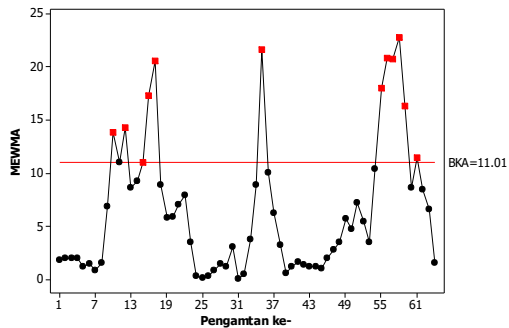


$$\omega = 0,9 \text{ dan } \lambda = 08$$

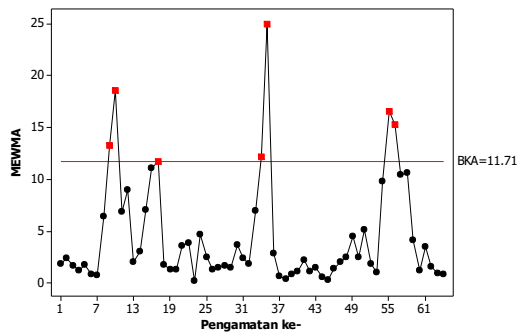
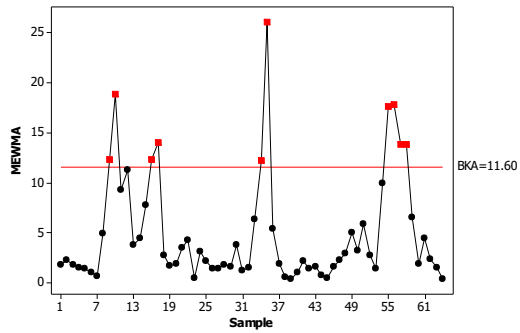
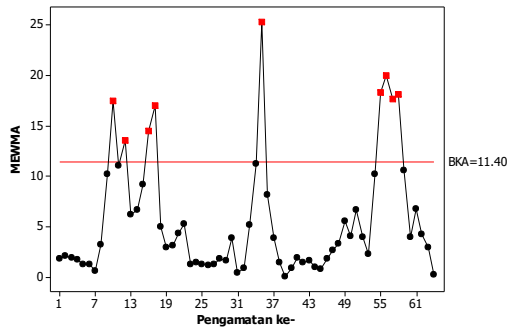
Lampiran G. Diagram Kendali MEWMA

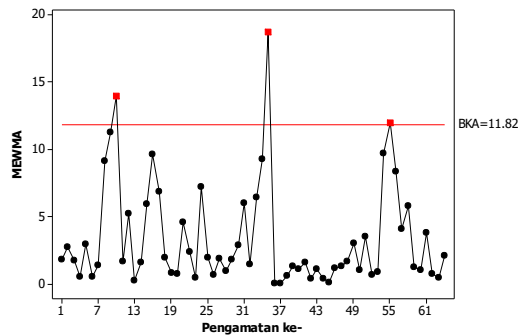
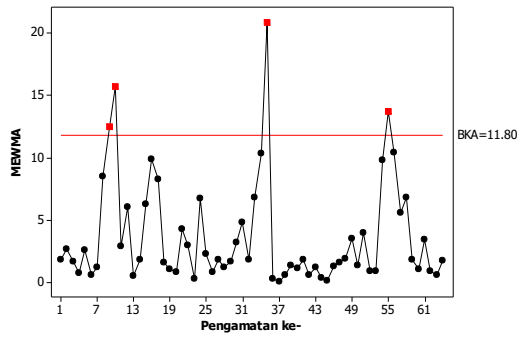
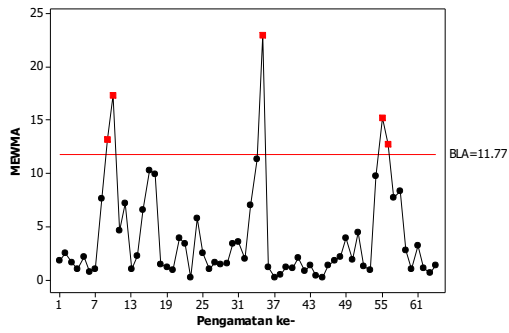


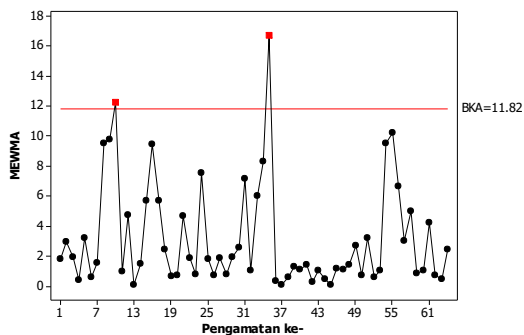
$$\lambda = 0,1$$



$$\lambda = 0,2$$

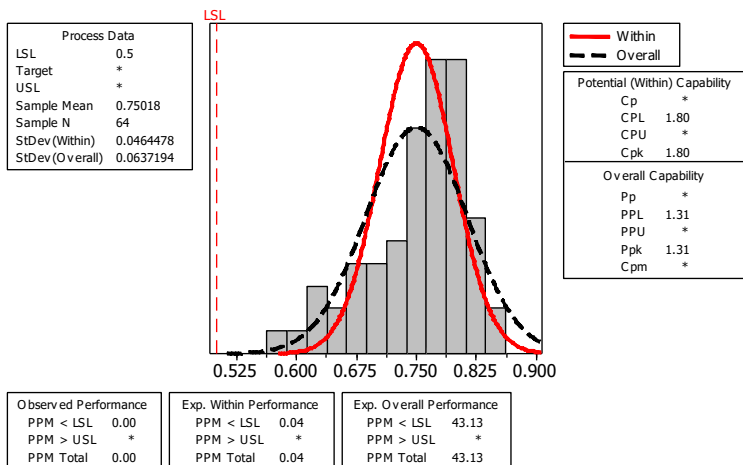




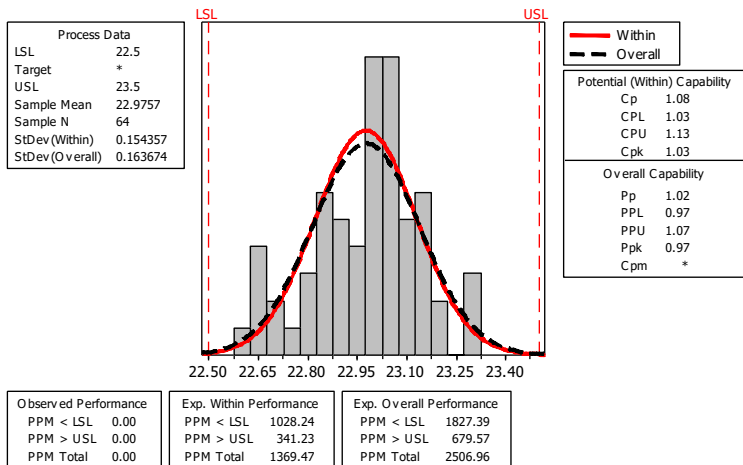


$$\lambda = 0,9$$

Lampiran H. Kapabilitas Proses Rata-rata Tebal Leher Minimum



Lampiran I. Kapabilitas Proses Rata-rata Diameter Luar Leher



Lampiran J. Surat Izin Pengambilan Data



PT. SINAR ANGKASA RUNGKUT

Jalan Rungkut Industri I No. 8, Surabaya 60283, Indonesia
Phone: +62-31-8438883, 8411582 | Fax: +62-31-8438847, 8432461
E-mail: chiyoda1@chiyoda-lighting.net | Website: http://www.chiyoda-lighting.com



Kepada Yth.
Ka. Departemen Statistika
Fakultas Matematika, Komputasi Dan Sains Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Di tempat

No. : 002/II/SK/HRD/SAR/2018
Perihal : Jawaban Permohonan Ijin Untuk Tugas Akhir

Dengan hormat,

Sehubungan dengan surat No.006021/IT2.V1.9.2/TU.00.09/2018 tertanggal 24 Januari 2018 tentang permohonan ijin memperoleh data untuk Tugas Akhir atas mahasiswa,

Nama : Dina Fitriarsi
Nrp : 06211440000096 (1314 100 096)
Program Studi : Sarjana (S1)
Departemen : Statistika FMKSD

bersama ini kami beritahukan bahwa permohonan tersebut dapat kami setuju dan bisa dimulai pada tanggal 01 Februari s.d. 28 Februari 2018.

Demikian surat balasan kami untuk diketahui . Terima kasih.

Surabaya, 05 Februari 2018

Dina Sinar Angkasa Rungkut
SURABAYA

Menik S Widayati, SH
HRD

Lampiran K. Surat Izin Publikasi

SURAT KETERANGAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

1. Mahasiswa Statistika FMKSD-ITS dengan identitas berikut :

Nama : Dina Fitriasari

NRP : 062114 4000 0096

Telah mengambil data di instansi/perusahaan kami :

Nama Instansi : PT. Sinar Angkasa Rungkut

Divisi/ bagian : *Quality Control*

sejak tanggal 01 Februari sampai dengan 28 Februari 2018 untuk keperluan Tugas Akhir/ Thesis Semester Gasal/Genap* 2017/ 2018.

2. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* nama perusahaan dicantumkan dalam Tugas Akhir/ Thesis mahasiswa Statistika yang akan di simpan di Perpustakaan ITS dan dibaca di lingkungan ITS.
3. Tidak Keberatan/~~Keberatan~~* bahwa hasil analisis data dari perusahaan dipublikasikan dalam E journal ITS yaitu Jurnal Sains dan Seni ITS.

Surabaya, 19 Juli 2018

Pembimbing Lapangan

Tugas Akhir

D.J. Sinar Angkasa Rungkut
SURABAYA

(Ir. Widjaja Sutanto)

*(coret yang tidak perlu)

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Dina Fitriasari dilahirkan di Mojokerto pada 21 Desember 1996. Penulis adalah anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Sugiono dan Maslikah. Penulis menempuh pendidikan formal di MI Al-Ikhsan II Sawahan (2002-2008), MTs Negeri Rejoso Peterongan I Jombang (2008-2011), dan SMA Darul Ulum I Unggulan BPPT Ponorogo Jombang (2011-2014). Kemudian penulis diterima sebagai Mahasiswa Departemen Statistika ITS melalui jalur SBMPTN pada tahun 2014. Selama masa perkuliahan, organisasi kampus yang pernah diikuti yaitu sebagai staff Analisis Data Divisi PSt periode 2015-2016, sebagai staff Departemen Islamic Pers JMMI-ITS periode 2016-2017, sebagai staff departemen Jaringan FORSIS-ITS periode 2015-2016, sebagai Manajer Analisis Data PSt periode 2016-2017, dan sebagai Sekretaris Umum FORSIS-ITS periode 2016-2017. Selama masa jabatan, penulis aktif mengikuti kegiatan yang diadakan sebagai panitia kegiatan maupun peserta. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email dinafitriasari96@gmail.com.