



TUGAS AKHIR – SS 141501

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK BR 1 SP
CRUMBLE TAHAP *BAGGING OFF* DI PT. JAPFA
COMFEED INDONESIA Tbk CABANG SIDOARJO**

LINA PUSPITA
NRP 1313 100 035

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT**



TUGAS AKHIR – SS 141501

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK BR 1 SP
CRUMBLE TAHAP *BAGGING OFF* DI PT. JAPFA
COMFEED INDONESIA Tbk CABANG SIDOARJO**

**LINA PUSPITA
NRP 1313 100 035**

**Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**PROGRAM STUDI SARJANA
DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



FINAL PROJECT – SS 141501

**BR 1 SP CRUMBLE QUALITY MONITORING ON
BAGGING OFF PRODUCTION STAGE IN PT.
JAPFA COMFEED INDONESIA, Tbk. CABANG
SIDOARJO**

**LINA PUSPITA
NRP 1313 100 035**

**Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**UNDERGRADUATE PROGRAMME
DEPARTMENT OF STATISTICS
FACULTY OF MATEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK BR 1 SP
CRUMBLE TAHAP BAGGING OFF DI PT. JAPFA
COMFEED INDONESIA Tbk CABANG SIDOARJO**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi Sarjana Departemen Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Lina Puspita
NRP. 1313 100 035

Disetujui oleh Pembimbing:
Dr. Muhammad Mashuri, MT
NIP. 19620408 198701 1 001

()



Mengetahui,
Kepala Departemen



Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JULI 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGENDALIAN KUALIS PRODUK BR 1 SP CRUMBLE
TAHAP BAGGING OFF DI PT. JAPFA COMFEED
INDONESIA TBK CABANG SIDOARJO**

Nama : Lina Puspita
NRP : 1313 100 035
Departemen : Statistika
Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

Abstrak

PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo merupakan salah satu perusahaan pakan ternak terbesar di Indonesia. Meskipun demikian sampai saat ini perusahaan belum secara intensif melakukan monitoring. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memonitor kualitas salah satu produk. BR 1SP Crumble merupakan produk terbesar dimana dilakukan pemeriksaan karakteristik kualitas terhadap kandungan air, protein, dan calcium. Oleh karena pemeriksaan lebih dari satu karakteristik kualitas dan ketiganya memiliki korelasi maka menggunakan diagram kendali T^2 Hotelling dan Improved Generalized Variance (IGV). Oleh karena asumsi pemeriksaan normal multivariate yang tidak terpenuhi maka dilakukan diagram baru menggunakan Weighted Moving Variance (MEWMV) dan Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA). Hasil pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMV didapatkan nilai pembobot yang paling optimal untuk ω sebesar 0,2 dan λ sebesar 0,6 sedangkan pembobot optimal diagram kendali MEWMA adalah 0,3. Kapabilitas proses menggunakan M_{Pp} dan M_{Ppk} menunjukkan proses kapabel hanya pada beberapa kode resep karena nilainya yang lebih dari satu.

Kata Kunci : Air, calcium, IGV, kapabilitas, MEWMA, MEWMV, pakan ternak, T^2 Hotelling, protein

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**BR 1 SP CRUMBLE QUALITY ON BAGGING OFF
PRODUCTION STAGE IN PT. JAPFA COMFEED
INDONESIA, Tbk. CABANG SIDOARJO**

Name : Lina Puspita
NRP : 1313 100 035
Department : Statistics
Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, M.T

Abstract

PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo is one of the largest forage company in Indonesia. However, until now the company has not intensively monitored. Therefore, this research was conducted to monitor the quality of one product. BR 1 SP Crumble is the biggest product where the characteristic gauging by moist, protein, and calcium. Because the examination of quality characteristic is more than one and they have correlation then used T^2 Hotelling and Improved Generalized Variance (IGV). Because of the assumption of a multivariate normal examination not fulfilled then a new diagram is created using Weighted Moving Variance (MEWMV) and Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA). The result of control using MEWMV control chart obtained the most optimal weighting value for ω of 0.2 and λ of 0.6 whereas the optimal weighting of the MEWMA control chart is 0.3. Process capability using M_{Pp} and M_{Ppk} indicates the process is capable using in some recipe code because the value more than one.

Keywords : *Calcium, capability, forage, IGV, MEWMA, MEWMV, protein, T^2 Hotelling*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengendalian Kualitas Produk BR 1 SP Crumble Tahap Bagging Off di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo”**. Terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suhartono, M. Sc dan Bapak Dr. Sutikno selaku Kepala dan Kaprodi S1 Departemen Statistika ITS.
2. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang sabar membimbing penulis.
3. Ibu Diaz Fitra Aksioma S. Si, M. Si dan Ibu Dra. Kartika Fithriasari, M. Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran-saran untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Daviq selaku pembimbing di PT.JCI Cabang Sidoarjo yang telah memberikan motivasi dan nasehat.
5. Bapak Sukaryana, Ibu Lilis Suryani, Mbak Lista, dan Adek Madi yang telah memberikan doa dan dukungannya.
6. Sahabatku Mala, Neni, Winda, Cece, Nurike, Tiwi, Nicea, Alicia dan Devi sebagai teman curhat dan mereka juga teman terbaik yang berusaha jujur satu sama lain.
7. Candra Novanto Prakoso Arisandi yang selalu memberikan dukungan, perhatian, dan semangat.

Pembuatan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, besar harapan dari penulis untuk menerima kritik dan saran yang berguna untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pemeriksaan Dependensi Variabel	7
2.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat	8
2.3 Diagram Kendali <i>Improved Generalized Variance</i>	10
2.4 Diagram Kendali T^2 <i>Hotelling</i>	11
2.5 Diagram Kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance (MEWMV)</i>	12
2.6 Diagram Kendali <i>Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (MEWMA)</i>	18
2.7 Analisis Kapabilitas Proses	19
2.8 PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	25

3.2 Variabel Penelitian	25
3.3 Cara Pengambilan Sampel	26
3.4 Langkah Analisis	26
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Deskripsi Kualitas Pakan Ternak	31
4.2 Pemeriksaan Dependensi Kandungan Air, Calcium dan Protein	32
4.3 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP <i>Crumble</i>	33
4.4 Pengendalian Rata-rata Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP <i>Crumble</i>	34
4.5 Pemeriksaan Normal Multivariat.....	35
4.6 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP <i>Crumble</i> dengan MEWMV	36
4.7 Pengendalian Rata-rata Proses Produksi Pakan Ternak Tipe G 11 S <i>Crumble</i> dengan MEWMA.....	44
4.8 Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali	55
4.9 Kapabilitas Proses	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1 Diagram Kendali IGV	34
Gambar 4.2 Diagram Kendali T^2 Hotelling	35
Gambar 4.3 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,1$	37
Gambar 4.4 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,2$	39
Gambar 4.5 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,3$	40
Gambar 4.6 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,4$	41
Gambar 4.7 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,5$	42
Gambar 4.8 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega=0,2$ dan $\lambda=0,55$	43
Gambar 4.9 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,1$	45
Gambar 4.10 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,2$	46
Gambar 4.11 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,3$	47
Gambar 4.12 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,4$	48
Gambar 4.13 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,5$	49
Gambar 4.14 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,6$	50
Gambar 4.15 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,7$	51
Gambar 4.16 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,8$	52
Gambar 4.17 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda=0,9$	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Batas Spesifikasi Kualitas BR 1 SP <i>Crumble</i>	26
Tabel 3.2 Struktur Data Penelitian	27
Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas	32
Tabel 4.2 Nilai ω dan λ untuk MEWMV	37
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai $ \max \text{tr}(V_t) - \text{BKA} $ Untuk MEWMV	44
Tabel 4.4 Selisih Antara Titik Pengamatan Maksimum dan BKA	54
Tabel 4.5 Kapabilitas Proses Secara Univariat	57
Tabel 4.6 Kapabilitas Proses Secara Multivariate	59

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Kualitas Pakan Ternak Tipe BR 1 SP <i>Crumble</i>	67
Lampiran B Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat	68
Lampiran C Pengujian Hubungan Variabel	68
Lampiran D Tabel Nilai L	69
Lampiran E Program Diagram Kendali IGV	69
Lampiran F Program Diagram Kendali T^2 Hotelling	71
Lampiran G Program Diagram Kendali MEWMV	72
Lampiran H Output Diagram Kendali MEWMV Untuk Masing-masing Pembobot	74
Lampiran I Output Kapabilitas Proses	77
Lampiran J Surat Keterangan Penelitian di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan daging yang semakin meningkat setiap tahunnya, hal ini dikarenakan tingginya konsumsi terhadap daging ayam. Menurut data Badan Pusat Statistik, konsumsi daging ayam ras atau kampung dari tahun 2012 sampai tahun 2013 mengalami peningkatan. Konsumsi rata-rata per kapita seminggu dari daging ayam ras atau kampung pada tahun 2012 sebesar 0,076 kg/minggu dan mengalami peningkatan sebesar 0.002 kg/minggu pada tahun 2013, begitu juga pada tahun 2014 yang mengalami peningkatan sebesar 0,008kg/minggu menjadi 0,086kg/minggu. Daging ayam lebih banyak diminati masyarakat karena harganya yang relatif lebih murah (Meliandasari, et al. 2015) dibandingkan daging sapi yang pada tahun 2016 harga komoditas tersebut masih berkisar antara Rp 110 ribu-Rp 116 ribu per kg (BPS, 2016). Permintaan daging ayam yang selalu meningkat setiap tahunnya menjadikan ayam ras pedaging atau broiler dipilih untuk menjadi komoditas utama karena pertumbuhannya yang cepat sehingga dapat mencukupi permintaan daging ayam sehari-hari masyarakat Indonesia.

Selain gizi yang diperhatikan saat mengkonsumsi, masyarakat juga melihat bobot ayam yang akan dibeli. Pakan menjadi faktor utama usaha peternakan. Tersedianya pakan yang cukup kualitas, kuantitas dan kontinuitas sangat berpengaruh terhadap keberhasilan usaha peternakan. Pakan yang diberikan harus memberikan zat pakan (nutrisi) yang dibutuhkan ayam, yaitu karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan mineral, sehingga pertambahan berat badan perhari (Average Daily Gain/ADG) bobot ayam semakin baik (Suprijana, et al. 2005).

PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk (JCI) sebagai salah satu industri pakan ternak dan hingga tahun 2012, PT. JCI memiliki 14 cabang, salah satunya cabang Sidoarjo yang memiliki kapasitas produksi 75 ton/jam. Menurut Gabungan Pengusaha Makanan Ternak (GPMT), di Indonesia sendiri memiliki perusahaan ternak

sebanyak 76 perusahaan dan PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk (JCI) termasuk dalam tiga besar perusahaan pakan ternak terbesar di Indonesia. Kualitas pakan ternak merupakan salah satu hal yang paling dijaga perusahaan seperti pada misi perusahaan yang ingin menjadikan PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk sebagai perusahaan pakan terbesar seluruh Asia dengan menjaga kualitas pakannya. Kualitas yang dijaga dengan baik membuat kepuasan konsumen pakan ternak meningkat, berhubungan dengan menjaga kualitas akan mencegah pula terjadinya peningkatan produktivitas, bahan yang terbuang, dan biaya garansi (Heizer & Render, 2009).

Proses produksi PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk dilakukan selama 24 jam untuk memenuhi kebutuhan pasar. Pengendalian statistik sangat diperlukan untuk melakukan pengendalian pada kualitas pakan ternak yang dihasilkan, tetapi PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk (JCI) hanya melakukan pengendalian secara sederhana yaitu dengan statistika deskriptif dengan melihat hasil pengukuran kualitas produk makanan berdasarkan batas spesifikasi yang ditentukan dan belum melihat apakah proses yang dilakukan sudah kapabel atau belum. Suatu proses dikatakan kapabel jika produk tersebut memenuhi batas dan memiliki tingkat presisi dan akurasi yang tinggi (Montgomery, 2009).

Produksi terbesar di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk (JCI) adalah pada tipe BR 1 SP *Crumble*. Tipe *crumble* ini merupakan pakan ternak berbentuk seperti pelet tetapi diproses lebih lanjut sehingga bentuknya lebih kecil lagi yang digunakan untuk pakan ternak semua jenis umur. Pada perusahaan ini dilakukan pengujian terhadap kualitas pakan ternak bergantung pada kandungan air, calcium, dan kandungan protein pada bagian *bagging off* atau saat pengemasan. Pengujian ini dilakukan pada produk dengan dilakukannya uji dilaboratorium bagian *quality control*. Dari ketiganya memiliki hubungan yaitu semakin tinggi kandungan calcium akan membuat kandungan protein yang dihasilkan semakin rendah dan semakin tinggi kandungan air yang ada akan membuat protein yang ada semakin rendah.

Sehingga produk yang dihasilkan akan berkualitas rendah jika pakan ternak tidak berada pada batas atas dan batas bawah standarisasi kualitas yang ditentukan atau pakan tersebut dikatakan pakan yang *out of control*. Oleh karena itu diperlukan pengendalian statistik untuk menjaga kualitas pakan ternak yang dihasilkan. Pentingnya kualitas akan sangat berpengaruh terhadap penjualan dan keuntungan yang didapatkan perusahaan nantinya. Apalagi jika produk tidak sesuai standart, akan adanya produksi ulang yang dilakukan perusahaan yang membuat biaya tambahan untuk dilakukannya produksi.

Data yang dihasilkan merupakan data kualitas dari produk BR 1 SP *Crumble* yang memiliki formula yang berbeda-beda tergantung dari bahan baku yang digunakan. Analisis yang dilakukan adalah dengan membuat diagram kendali kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis kapabilitas. Diagram kendali yang digunakan adalah diagram kendali *Multivariate Improved Generated Variance* dan T^2 *Hotelling* karena karakteristik kualitas yang digunakan saling berhubungan, akan diolah secara bersamaan untuk mendapatkan diagram kendali. Berbeda dengan diagram kendali secara univariat yang mengolah data secara terpisah pada masing-masing karakteristiknya, dengan multivariat akan dihasilkan hasil yang lebih sensitif daripada jika kita menggunakan diagram kendali secara univariat sehingga akan mencegah perusahaan melakukan produksi ulang pada pakan ternak yang membuat perusahaan mengeluarkan biaya tambahan.

Kelebihan diagram kendali ini adalah sangat efektif digunakan untuk data yang jumlah outliernya kecil (Midi & Shabbak, 2012). Sebelum dilakukan diagram kendali *Multivariate Improved Generated Variance* dan T^2 *Hotelling* dilakukan proses transformasi data karena hasil pengukuran yang ada memiliki batas spesifikasi yang berbeda-beda. Selisih antara hasil pengukuran dengan nilai tengah batas spesifikasi yang kemudian diolah untuk membuat diagram kendali. Selain menggunakan diagram kendali tersebut ada juga diagram kendali yang dilakukan secara multivariat yaitu dengan menggunakan diagram

kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) merupakan diagram kendali multivariat yang *robust* terhadap normal multivariat (Montgomery, 2009). Selain pengendalian rata-rata proses, pengendalian variabilitas proses produksi juga merupakan suatu hal yang penting untuk dilakukan. Diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV) merupakan diagram kendali multivariat dengan pengamatan individual untuk mendeteksi perubahan variabilitas proses.

Menurut Susanto (2016) yang melakukan penelitian tentang pengendalian kualitas terhadap pipa electric resistance welded di PT. X dengan menggunakan *Multivariate Generated Variance* dan T^2 Hotelling didapatkan bahwa masih terdapat data pengamatan yang out of control di kedua diagram kendali variabel yang disebabkan kurang telitinya petugas dalam proses pengukuran, dengan kapabilitas proses sudah kapabel dan variansi proses lebih kecil toleransi dibandingkan dengan batas spesifikasi yang ditentukan. Nilai indeks kapabilitas tahap II lebih kecil daripada indeks kapabilitas tahap I. Sedangkan menurut Kurnia (2013) melakukan penelitian di PT Ajinimoto didapatkan bahwa antara bulan Januari sampai Maret 2012 nilai indeks yang kurang dari satu maka dikatakan bahwa proses belum kapabel.

1.2 Rumusan Masalah

PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk cabang Sidoarjo sudah berdiri sejak tahun 1971 dengan tekad untuk tetap menjadi mutu kualitas pada pakan ternak. Menurut informasi dari perusahaan bahwa produk BR 1 SP Crumble paling banyak diproduksi. Meningkatnya jumlah produksi tipe ini didasari dari banyaknya permintaan konsumen. Untuk itu dilakukan pengendalian kualitas dengan melakukan pengukuran pada karakteristik kualitas di kandungan air, protein, dan calcium. Tetapi perusahaan hanya melakukan pengendalian secara univariate dengan hanya melihat hasil pengukuran terhadap spesifikasi yang sudah ditentukan pada masing-masing karakteristik kualitasnya. Perbandingan yang dilakukan perusahaan per masing-masing karakteristik kualitas

belum secara multivariate dengan menggunakan metode statistika yang akan membuat pengendalian kualitas pakan ternak menjadi lebih sensitif terhadap hasil pengukuran kualitas. Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dilakukan pengendalian terhadap produk BR 1 SP Crumble dengan menggunakan diagram kendali *Multivariate Improved Generated Variance* dan T^2 *Hotelling* dan juga diagram kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA) dan *Multivariate Exponentially Weighted Moving Variance* (MEWMV), kemudian dicari nilai kapabilitas dari proses dengan menggunakan data transformasi. Data transformasi ini merupakan selisih antara hasil pengukuran dengan nilai tengah batas spesifikasinya.

1.3 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mencari penyebab terjadinya produk yang out of control pada produk BR 1 SP *Crumble* di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk cabang Sidoarjo.
2. Menentukan kapabilitas proses produksi BR 1 SP *Crumble* di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk cabang Sidoarjo

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pada perusahaan terkait dengan hasil dari penelitian yang dilakukan secara statistik yaitu memberikan informasi mengenai kapabilitas proses dan penyebab terjadinya produk yang *out off control* pada produk BR 1 SP *Crumble* dan harapan dari hasil penelitian ini dapat menerapkan metode statistika dalam mengevaluasi hasil produksi sehingga nantinya dapat melakukan *continous improvement*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah data yang digunakan merupakan data dari pakan ternak BR 1 SP *Crumble* di PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk cabang Sidoarjo. Yang

memiliki tiga karakteristik kualitas yaitu kandungan air, protein, dan calcium. Data yang diolah adalah data bulan Oktober 2016 sampai Desember 2016.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengendalian kualitas merupakan salah satu faktor yang digunakan perusahaan untuk menjaga agar mutu produk yang dihasilkan selalu memenuhi spesifikasi dengan melakukan suatu tindakan untuk memonitoring agar dapat dilakukan perbaikan. Salah satunya adalah dengan menggunakan diagram kendali. Diagram kendali adalah grafik yang dapat menggambarkan kondisi proses selama periode tertentu yang terdiri dari batas kendali atas dan batas kendali bawah (Montgomery, 2009). Diagram kendali dibedakan menjadi dua yaitu diagram kendali untuk atribut dan variabel. Diagram kendali atribut merupakan diagram kendali yang digunakan untuk data kualitatif sedangkan untuk variabel untuk data kuantitatif. Pada diagram kendali variabel juga juga dibagi menjadi diagram kendali yang digunakan untuk data subgroup dan juga data individu. Diagram kendali menggunakan kriteria dalam menganalisis prosesnya apakah sudah terkendali atau belum, diagram kendali yang memiliki kriteria pengendalian lebih dari dua variabel maka dinamakan sebagai diagram kendali multivariat. Diagram kendali multivariat memiliki beberapa asumsi yang harus dipenuhi yaitu variabel antar karakteristik dependen dan berdistribusi normal multivariat.

2.1 Pemeriksaan Dependensi Variabel

Analisis multivariat adalah analisis yang digunakan pada pengamatan yang memiliki lebih dari satu variabel, dimana antar variabel diasumsikan berdistribusi normal multivariat dan juga memiliki hubungan (Johnson & Wichern, 2007). Suatu pengamatan dikatakan independen apabila matrik korelasi antar variabel tidak sama dengan matrik identitas. Untuk menguji apakah antara dua variabel atau lebih variabel saling independen maka dilakukan uji hipotesis. Uji hipotesis yang digunakan adalah menggunakan metode barlett's (Morrison, 2005). Berikut ini adalah pengujiannya hipotesis:

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

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

Taraf Signifikan : α

Statistik Uji :

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

Dimana,

m = banyaknya seluruh pengamatan ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)

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

$|\mathbf{R}|$ = determinan matrik korelasi

Daerah penolakan : $X^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$; jika X^2 hitung lebih besar dari daerah penolakan, maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antar variabel. Sampel dari matriks korelasi dapat dianalogikan menggunakan matriks korelasi pada kovarian (Rencher, 2002).

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

$$\text{Dengan } r_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{ih} - \bar{X}_h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (X_{ij} - \bar{X}_j)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m (X_{ih} - \bar{X}_h)^2}}$$

Dimana :

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

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

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

X_{ij} = sampel variabel ke- i sampai variabel ke- j ($j=1, 2, \dots, p$)

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

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

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

H_0 ditolak dengan menggunakan taraf signifikan α jika nilai $X^2_{hitung} > X^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam kasus multivariat terdapat korelasi antar variabel.

2.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Distribusi Normal Multivariat merupakan distribusi normal univariat dengan variabel lebih dari dua. Suatu variabel $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$ dengan mean $\boldsymbol{\mu}$ dan varian $\boldsymbol{\Sigma}$ akan memiliki *probability density function*.

$$f(X_1, X_2, \dots, X_p) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\boldsymbol{\Sigma}|^{1/2}} e^{-(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})/2}$$

Dimana p merupakan banyaknya variabel yang digunakan. Jika $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$ berdistribusi normal *multivariate* maka $(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})' \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})$ berdistribusi χ_p^2 . berdistribusi normal. Metode yang digunakan dalam uji normalitas data multivariat pada penelitian ini adalah uji *Shapiro-Wilk* secara univariat menghitung nilai W . Berikut ini langkah-langkahnya

- i. Mengurutkan pengamatan
- ii. Menghitung nilai $S^2 = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2$
- iii. Jika n genap, $m=n/2$ dan ganjil $m=(n-1)/2$, dengan $b = \sum_{i=1}^m a_i (x_{n+1-i} - x_i)$ dimana nilai a_i adalah koefisien tabel normality test
- iv. Menghitung nilai W dengan rumus $w = \frac{b^2}{S^2}$, kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai statistik uji secara multivariat.

H_0 : $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$ berdistribusi $N_p(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$

H_1 : $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$ bukan berdistribusi $N_p(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$

Statistik uji untuk hipotesis tersebut adalah

$$W = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p W_k \quad (2.2)$$

Hipotesis null ditolak pada tingkat signifikansi sebesar α jika $W < c_{\alpha, n, p}$ (Alva & Estrada, 2009).

2.3 Diagram Kendali *Improved Generalized Variance*

Mengawasi proses multivariat dapat dilakukan dengan dua level yang berbeda yaitu dengan melihat rata-rata prosesnya dan variabilitas prosesnya. Diagram kontrol *Improved Generalized Variance* merupakan diagram yang digunakan untuk mengontrol proses berdasarkan variabilitasnya. Diagram kendali ini dikemukakan oleh Maman A. Djauhari 2010 dengan berdasar pada selisih antar vektor pengamatan berturut-turut sebagai berikut. Apabila $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_m, \mathbf{x}_{m+1}$ merupakan sampel random berdistribusi normal p-variabel dengan matriks kovarians Σ definit positif, matriks \mathbf{D} dapat didefinisikan sebagai berikut

$$\mathbf{D} = \mathbf{SS}_{m+1} - \mathbf{SS}_m, \quad (2.3)$$

Dimana,

$$\mathbf{SS}_k = \sum_{i=1}^k (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_k)(\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}_k)' \quad (2.4)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \mathbf{x}_i \quad (2.5)$$

Dimana

$k=m$ dan $k=m+1$

Titik pengamatan yang diplotkan di diagram kendali adalah nilai statistik F dengan persamaan sebagai berikut.

$$F = \sqrt{\text{Tr}(\mathbf{D}^2)} \quad (2.6)$$

Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk diagram kendali *generalized variance* untuk pengamatan individu berikut ini

$$BKA = cX_r^2 \quad (2.7)$$

$$\text{Dengan } c = \frac{\text{Tr}(\mathbf{S}^2)}{\text{Tr}(\mathbf{S})} \text{ dan } r = \frac{\{\text{Tr}(\mathbf{S})\}^2}{\text{Tr}(\mathbf{S}^2)}$$

$$BKB = 0 \quad (2.8)$$

Matriks kovarian pada diagram *Generalized Variance* mengacu pada Montgomery (2005) yaitu

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{(m-1)} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i, i = 1, 2, \dots, m-1$$

\mathbf{v}_i adalah vektor selisih antara vektor data ke- i dan vektor data ke $i+1$, dalam matrik *successive different* ditulis sebagai berikut.

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}'_1 \\ \mathbf{v}'_2 \\ \vdots \\ \mathbf{v}'_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)' \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)' \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)' \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

2.4 Diagram Kendali T^2 Hotelling

Diagram Kendali T^2 Hotelling merupakan diagram kendali yang digunakan memonitor rata-rata dari suatu proses produksi sudah terkendali atau tidak. Diagram Kendali T^2 Hotelling digunakan untuk proses produksi dengan dua atau lebih karakteristik. Diagram Kendali T^2 Hotelling terdiri dari dua versi yaitu untuk data subgroup dan untuk pengamatan individu. Pada pengamatan individu sampel terdiri dari m pengamatan dan p karakteristik. Jika $\bar{\mathbf{x}}$ dan \mathbf{S} merupakan vektor rata-rata dan kovarian matrik. Berikut ini adalah persamaan statistik T^2 Hotelling (Montgomery, 2009).

$$T_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}) \quad (2.11)$$

Dimana,

\mathbf{x}_i = vektor pengamatan ke- i , $i=1, 2, \dots, m$

$\bar{\mathbf{x}}$ = vektor rata-rata tiap variabel kualitas

\mathbf{S} = matriks varians kovarians dengan *successive difference*

diagram kendali T^2 *Hotelling* individu dihitung dengan rumus,

$$\mathbf{S} = \frac{1}{2} \frac{\mathbf{V}'\mathbf{V}}{(m-1)} \quad (2.12)$$

Dimana,

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \mathbf{v}'_1 \\ \mathbf{v}'_2 \\ \vdots \\ \mathbf{v}'_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1)' \\ (\mathbf{x}_3 - \mathbf{x}_2)' \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i)' \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

dengan $i = 1, 2, \dots, m-1$

Dengan \mathbf{v}_i adalah vektor selisih antara vektor data ke- i dengan vektor data ke- $i+1$. Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) untuk diagram kendali T^2 *Hotelling* pada pengamatan individe adalah sebagai berikut.

$$BKA = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, \frac{p}{2}, (m-p-1)/2} \quad (2.14)$$

$$BKB = 0 \quad (2.15)$$

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

Diagram kendali MEWMV digunakan untuk memonitor variabilitas proses tanpa adanya asumsi terjadi perubahan *mean* proses selama pengendalian berlangsung (Huwang, 2007). Diagram ini dibangun untuk mendeteksi secara sensitif terjadinya perubahan variabilitas proses. Karakteristik kualitas yang saling berhubungan dapat dikatakan multivariat. Diagram kendali MEWMV dibentuk dari persamaan berikut.

$$\mathbf{V}_m = \omega(\mathbf{x}_m - \mathbf{y}_m)(\mathbf{x}_m - \mathbf{y}_m)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_{m-1} \quad (2.16)$$

dimana ω merupakan nilai pembobot bernilai $0 < \omega < 1$ dan $\mathbf{V}_0 = (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)'$. Estimasi dari \mathbf{y}_m untuk perubahan rata-rata proses pada waktu ke m dapat dilihat pada persamaan berikut (Lowry et al, 1992).

$$\mathbf{y}_m = \lambda\mathbf{x}_m + (1 - \lambda)\mathbf{y}_{m-1} \quad (2.17)$$

dengan $\mathbf{y}_0 = 0$ dan $0 < \lambda < 1$.

Untuk mendeteksi terjadinya perubahan dalam matriks kovarian harus didefinisikan :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \text{ dengan } \mathbf{x}_m = \begin{bmatrix} x_{1m} \\ x_{2m} \\ \vdots \\ x_{mp} \end{bmatrix} \text{ dan } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

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

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

Untuk masing-masing nilai m , persamaan (2.16) dapat dijabarkan sebagai berikut.

Untuk $m = 1$,

$$\mathbf{V}_1 = \omega(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)\mathbf{V}_0$$

Untuk $m = 2$,

$$\mathbf{V}_2 = \omega(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' + \omega(1 - \omega)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)^2\mathbf{V}_0$$

Untuk $m = 3$,

$$\mathbf{V}_3 = \omega(\mathbf{x}_3 - \mathbf{y}_3)(\mathbf{x}_3 - \mathbf{y}_3)' + \omega(1 - \omega)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)(\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)' + \omega(1 - \omega)^2(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)(\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)' + (1 - \omega)^2\mathbf{V}_0$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Dengan demikian secara umum persamaan (2.16) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_m = \sum_{i=1}^m \omega(1 - \omega)^{m-i} (\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)(\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i)' + (1 - \omega)^m\mathbf{V}_0 \quad (2.19)$$

Persamaan (2.17) juga memiliki penjabaran yang serupa dengan persamaan (2.16). Ketika masing-masing nilai m dimasukkan ke dalam persamaan (2.17) maka akan didapatkan nilai y_m sebagai berikut.

Untuk $m = 1$,

$$\mathbf{y}_1 = \lambda \mathbf{x}_1$$

Untuk $m = 2$,

$$\mathbf{y}_2 = \lambda \mathbf{x}_2 + \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_1$$

Untuk $m = 3$,

$$\mathbf{y}_3 = \lambda \mathbf{x}_3 + \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_2 + \lambda(1 - \lambda)^2\mathbf{x}_1$$

Begitu seterusnya berlaku untuk semua pengamatan. Secara umum, persamaan (2.4) dapat diubah menjadi persamaan berikut.

$$\mathbf{y}_m = \sum_{i=1}^m \lambda(1 - \lambda)^{m-i}\mathbf{x}_i \quad (2.20)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.20) ke dalam $\mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i$ maka dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_i - \mathbf{y}_i &= \mathbf{x}_i - \sum_{j=1}^i \lambda(1 - \lambda)^{i-j}\mathbf{x}_j \\ &= (1 - \lambda)\mathbf{x}_i - \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_{i-1} - \dots - \lambda(1 - \lambda)^{i-1}\mathbf{x}_1 \\ &\quad ; i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (2.21)$$

Jika persamaan (2.21) dituliskan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) &= \begin{bmatrix} (\mathbf{x}_1 - \mathbf{y}_1)^T \\ (\mathbf{x}_2 - \mathbf{y}_2)^T \\ \vdots \\ (\mathbf{x}_m - \mathbf{y}_m)^T \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} (1 - \lambda)\mathbf{x}_1 \\ (1 - \lambda)\mathbf{x}_2 - \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_1 \\ \vdots \\ (1 - \lambda)\mathbf{x}_t - \lambda(1 - \lambda)\mathbf{x}_{t-1} - \dots - \lambda(1 - \lambda)^{m-1}\mathbf{x}_1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{bmatrix} 1 - \lambda & 0 & \cdots & 0 \\ -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\lambda(1 - \lambda)^{m-1} & \cdots & -\lambda(1 - \lambda) & 1 - \lambda \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^T \\ \mathbf{x}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{x}_m^T \end{bmatrix} \\
&= (\mathbf{I}_m - \mathbf{M})\mathbf{X} \tag{2.22}
\end{aligned}$$

\mathbf{I}_m merupakan matrik identitas berukuran $m \times m$ yang dapat dituliskan,

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

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

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

Persamaan (2.19) dapat juga dituliskan sebagai berikut.

$$\mathbf{V}_m = (\mathbf{X} - \mathbf{Y})' \mathbf{C} (\mathbf{X} - \mathbf{Y}) \tag{2.23}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.22) ke dalam persamaan (2.23) maka dapat diperoleh,

$$\begin{aligned}
\mathbf{V}_m &= \mathbf{X}' (\mathbf{I}_m - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_m - \mathbf{M}) \mathbf{X} \\
&= \mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X} \tag{2.24}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\mathbf{Q} &= (\mathbf{I}_m - \mathbf{M})' \mathbf{C} (\mathbf{I}_m - \mathbf{M}) \\
&= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & \cdots & q_{mm} \end{bmatrix}; 1 \leq i; j \leq m
\end{aligned}$$

Dari persamaan (2.24) dapat dicari nilai $tr(\mathbf{V}_m)$ dimana nilai merupakan nilai yang diplotkan kedalam diagram kendali dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
tr(\mathbf{V}_m) &= tr(\mathbf{X}' \mathbf{Q} \mathbf{X}) \\
&= tr(\mathbf{Q} \mathbf{X} \mathbf{X}') \tag{2.25}
\end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned} \mathbf{QXX}' &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & \cdots & q_{mm} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mp} \end{bmatrix} \\ &\quad \times \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \cdots & x_{pm} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m1} & \cdots & q_{mm} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{1k} & \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{mk} \\ \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{2k} & \sum_{k=1}^p x_{2k}x_{2k} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^p x_{1k}x_{mk} & \sum_{k=1}^p x_{2k}x_{mk} & \cdots & \sum_{k=1}^p x_{mk}x_{mk} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui,

$$\begin{aligned} \text{tr}(\mathbf{V}_m) &= \sum_{j=1}^m q_{1j} \left(\sum_{k=1}^p x_{1k}x_{jk} \right) + \sum_{j=1}^m q_{2j} \left(\sum_{k=1}^p x_{2k}x_{jk} \right) + \cdots + \sum_{j=1}^m q_{mj} \left(\sum_{k=1}^p x_{mk}x_{jk} \right) \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j \neq i}^m q_{ij} E \left(\sum_{k=1}^p x_{ik}x_{jk} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

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

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

Nilai $E[\text{tr}(\mathbf{V}_m)]$ akan konvergen ke $E(\mathbf{V}_m) = \frac{2(1-\lambda)^2 \Sigma}{2-\lambda}$ untuk $n \rightarrow \infty$. Untuk mendapatkan batas kendali dari $[\text{tr}(\mathbf{V}_m)]$ harus didapatkan nilai $\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_m)]$ terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_m)] &= \text{Var} \left[\sum_{i=1}^m q_{ii} \sum_{k=1}^p x_{ik}^2 + 2 \sum_{i=1}^m \sum_{j<i}^m q_{ij} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \right] \\
&= \sum_{i=1}^m q_{ii}^2 \text{Var} \left(\sum_{k=1}^p x_{ik}^2 \right) + 4p \sum_{i=1}^m \sum_{j<i}^m q_{ij}^2 \text{Var} \sum_{k=1}^p x_{ik} x_{jk} \\
&= 2p \sum_{i=1}^m q_{ii}^2 + 4p \sum_{i=1}^m \sum_{j<i}^m q_{ij}^2 \\
&= 2p \sum_{i=1}^m \sum_{j=i}^m q_{ij}^2 \tag{2.26}
\end{aligned}$$

Persamaan (2.26) akan menjadi batas yang memungkinkan untuk setiap n dan batas diagram berdasarkan $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ yaitu,

$$\begin{aligned}
BKA &= E[\text{tr}(\mathbf{V}_m)] + L\sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_m)]} \\
BKB &= E[\text{tr}(\mathbf{V}_m)] - L\sqrt{\text{Var}[\text{tr}(\mathbf{V}_m)]} \tag{2.27}
\end{aligned}$$

dimana L merupakan konstanta yang bergantung pada p (banyaknya karakteristik kualitas) dan nilai ω dan λ yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai batas kontrol MEWMV dilakukan melalui simulasi Monte Carlo dengan *Average Run Length* sebesar 370 (Huwang et al, 2007).

2.6 Diagram Kendali *Multivariate Exponentially Weighted Moving Average* (MEWMA)

Diagram kendali MEWMA digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan *mean* proses. Kelebihannya adalah *robust* terhadap asumsi distribusi normal, sehingga ketika data tidak memenuhi asumsi normal maka diagram kendali ini masih bisa digunakan. Diagram kendali MEWMA merupakan generalisasi dari proses untuk data univariat EWMA yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\mathbf{Z}_i = \lambda \mathbf{x}_i + (1 - \lambda) \mathbf{Z}_{i-1} \tag{2.28}$$

Dimana \mathbf{x}_i merupakan vektor rata-rata sampel, λ adalah pembobot yang bernilai $0 \leq \lambda \leq 1$ dan $\mathbf{Z}_0 = 0$. Apabila tidak ada alasan pemilihan pembobot yang berbeda untuk masing-masing

karakteristik kualitas maka pembobot $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_p = \lambda$. Titik pengamatan yang diplotkan di diagram kendali adalah :

$$T_i^2 = \mathbf{z}_i' \sum_{\mathbf{z}_i}^{-1} \mathbf{z}_i \quad (2.29)$$

Data dikatakan *out of control* ketika nilai T_i^2 lebih besar dari h_4 . Nilai h_4 merupakan batas kendali atas dan untuk batas kendali bawah bernilai 0, didapatkan dari hasil simulasi yang disesuaikan dengan besarnya ARL hingga didapatkan nilai batas kendali atas yang konvergen. Matriks kovarian dari \mathbf{Z}_i adalah :

$$\sum \mathbf{z}_i = \frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \Sigma \quad (2.30)$$

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

2.7 Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses digunakan untuk mengevaluasi suatu proses secara keseluruhan. Indeks kapabilitas yang disarankan oleh *Automotive Industry Action Group* (AIAG) untuk proses dalam keadaan *in control* menggunakan C_p dan C_{pk} , sedangkan untuk proses yang tidak dalam keadaan *in control*, lebih baik digunakan indeks *performance process* P_p dan P_{pk} (Montgomery, 2009). Hal ini dikarenakan ketika proses dalam kondisi *out of control*, nilai varians tidak dapat ditaksir dari nilai sampel. Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data univariat adalah

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6s} \quad (2.30)$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{USL - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} - LSL}{3s} \right\} \quad (2.31)$$

Keterangan :

USL = *Upper Specification Limits* (batas spesifikasi atas)

LSL = *Lower Specification Limits* (batas spesifikasi bawah)

Sehubungan dengan adanya tiga karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini, maka indeks *performance process* secara multivariat cocok digunakan terutama dengan mempertimbangkan pembobot dari masing-masing karakteristik

kualitas, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Raissi, 2009).

$$M P_P = \sum_{k=1}^p W_k P_P(X_k) \quad (2.32)$$

$$M P_{PK} = \sum_{k=1}^p W_k P_{PK}(X_k) \quad (2.33)$$

Dimana MP_P , MP_{PK} berturut-turut merupakan bentuk P_P , P_{PK} dalam keadaan multivariat dengan W_i merupakan pembobot

berdasarkan kepentingan dengan $\sum_{k=1}^p W_k = 1$. Nilai W_i disesuaikan

dengan pembobot karakteristik kualitas yang ditetapkan oleh perusahaan. Jika tidak ada pembobotan untuk masing-masing karakteristik kualitas maka nilai pembobot dianggap sama.

2.8 PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Unit Gedangan

PT. Japfa Comfeed Indonesia, Tbk berdiri sejak tahun 1971 yang pada awalnya hanya bergerak dalam industri kopra pelet sebagai produk utamanya. Pada saat ini unit bisnis utama perusahaan ini yakni pembuatan pakan ternak, pembibitan ayam, pengolahan unggas serta pembudidayaan pertanian. Dengan visi ingin menjadi perusahaan pakan ternak terkemuka di Indonesia, makan perusahaan harus menjaga kualitasnya. Pada penelitian ini produk BR 1 SP *Crumble* yang digunakan. Berikut ini adalah pemaparan proses proses produksi pakan ternak BR 1 SP *Crumble*.

1. *Preparation* atau biasa disebut proses persiapan bahan baku yang diambil dari gudang seperti jagung, kopra dan bekatul. Kemudian dari gudang bahan-bahan akan masuk pada bagian silo 1 dan 2 untuk nantinya menunggu saat akan di *mixer*.
2. *Mixer* merupakan proses dimana semua bahan dicampur sesuai resep. Bahan yang ada kemudian dihancurkan menjadi tepung agar proses pencampuran menjadi

mudah. Pada tahap ini juga ditambahkan Na dan Calcium, dan juga semua bahan yang tercampur di *steam*. Untuk jenis pakan ternak konsentrat dari proses ini akan langsung masuk pada tahap *packing*.

3. *Pelettizer*, setelah selesai dicampur pakan ternak kemudian di bentuk menjadi pelet dengan cara dicetak pada mesin *die hole*. Pelet yang sudah dicetak merupakan pelet yang masih panas.
4. *Cooler*, pada tahap ini pelet yang masih panas tadi akan didinginkan. Pendinginan pada proses ini menggunakan suhu udara luar yang ada diluar mesin. Untuk jenis pakan ternak pelet dari tahap ini akan masuk langsung pada tahap *packing* atau *bagging off* sedangkan pakan ternak yang *crumble* harus masuk lagi ke tahap selanjutnya.
5. *Crumber*, setelah pelet yang sudah didinginkan akan masuk lagi pada proses ini. Pakan ternak yang berbentuk pelet akan di hancurkan agar menjadi bentuk *crumble*.
6. *Packing* atau *bagging off*, pada tahap ini pakan ternak yang sudah jadi akan dikemas ke dalam karung.

Pengawasan kualitas pada departemen *quality control* meliputi pengukuran karakteristik yang terdiri dari empat yaitu.

1. Kandungan Air

Kadar air adalah presentase kandungan air dari suatu bahan yang dinyatakan bersarkan pada berat basah (*wet basis*) atau berat kering (*dry basis*). Metode pengeringan akan dilakukan agar makanan ternak menjadi kering dan tidak mudah berjamur akan tetapi beberapa bahan makanan seperti silase atau atsiri merupakan bahan yang mudah hilang saat terjadinya pemanasan tersebut (Soelistyono,1976). Kandungan air dalam pakan ternak terdapat dalam bentuk air bebas, air terikat lemah, adan air terikat kuat. Besarnya kadar air ini bisa dipengaruhi oleh proses pengeringan dalam oven (Tillman *et al.*, 1998). Semakin tinggi kadar air dalam bahan baku pakan, maka akan membuat kandungan nutrien semakin

rendah, dan juga kandungan air yang tinggi tidak disarankan karena akan membuat pakan berjamur dan menurunkan kualitasnya.

2. Kandungan Protein

Protein merupakan senyawa organik yang sebagian besar unsurnya terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur dan fosfor. Protein berfungsi sebagai penghasil energi bagi hewan ternak (Widodo, 2006). Tubuh hewan ternak seperti ayam pedaging dan petelur memerlukan protein sebanyak 19 – 23 persen (Ketaren, 2010).

3. Kandungan Calsium

Calsium merupakan mineral yang paling banyak dibutuhkan pada hewan ternak. Mineral kalsium sangat penting dalam pertumbuhan tulang dan gigi dan juga dibutuhkan dalam proses fisiologis ternak. Jika ternak kekurangan calsium dapat menyebabkan kelainan proses fisiologik yang disebut defisiensi mineral (Widodo,2006). Tubuh ayam pedaging membutuhkan kalsium sebanyak 0,9 persen dedangkan ayam petelur membutuhkan calsium sebanyak 0,6-1 persen (Kentaren, 2010).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Penelitian ini dilakukan pada PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk, Buduran Sidoarjo dengan menggunakan data sekunder pada bagian *quality control* ditahap *bagging off*. Data yang digunakan adalah data dari bulan Oktober 2016- Desember 2016 dengan tiga variabel karakteristik kualitas produk *Broiler 1 SP Crumble* sebanyak 138 pengamatan. Pengambilan sampel dilakukan satu kali setiap proses pembuatan pakan ternak .

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran kualitas produk pakan ternak di PT Japfa Comfeed Tbk, cabang Sidoarjo yang meliputi *moist*, *calcium*, dan protein dimana ketiga karakteristik kualitas yang ada memiliki hubungan yaitu semakin tinggi kandungan air dan kalsiumnya akan membuat protein menjadi rendah. Variabel penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Air (X_1)

Air adalah kandungan air yang terdapat pada pakan ternak semakin tinggi kandungan air yang ada dalam pakan ternak akan membuat pakan ternak mudah sekali berjamur, satuan yang digunakan adalah presentase.

2. Calcium (X_2)

Calcium adalah kandungan calcium yang ada dipakan ternak dengan menggunakan satuan pengukuran presentase.

3. Protein (X_3)

Protein merupakan kandungan protein yang ada dipakan ternak dengan satuan pengukuran presentase.

Proses inspeksi yang dilakukan oleh divisi *quality control* pada bagian laboratorium. Inspeksi ini dilakukan pada proses *bagging off* dengan mengambil sampel setiap dilakukannya

pembuatan pakan BR 1SP *Crumble* atau dilakukan inspeksi disetiap *line*.

Standar kualitas yang ditetapkan oleh PT Japfa Comfeed Tbk cabang Sidoarjo untuk pakan ternak BR 1 SP *Crumble* berbeda-beda menurut resep yang digunakan. Perbedaan yang ada di batas spesifikasi dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan saat pembuatan pakan ternak. Variansi perbedaan yang ada tidak terlalu jauh berikut ini adalah batas spesifikasi masing-masing kode resep.

Tabel 1.1 Batas Spesifikasi Kualitas BR1 SP *Crumble*

Kode Resep	Batas Spesifikasi		
	Air	Calcium	Protein
B1S205	10,27-12,13	0,675-0,885	19,69-21,23
B1S206	10,32-12,18	0,675-0,885	19,67-21,21
B1S207	10,18-12,04	0,675-0,885	20,04-21,60
B1S209	10,17-12,03	0,766-1,004	20,03-21,59
B1S210	10,15-12,01	0,675-0,885	20,56-22,16
B1S212	10,03-11,89	0,675-0,885	20,29-21,87
B1S213	9,92-11,78	0,675-0,885	20,36-21,94
B1S214	9,88-11,74	0,675-0,885	20,38-21,96
B1S215	10,15-12,01	0,675-0,885	20,21-21,79
B1S216	10,18-12,04	0,675-0,885	20,21-21,79
B1S217	10,25-12,11	0,675-0,885	20,21-21,79

3.3 Cara Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah produk BR 1 SP *Crumble* pada bulan Oktober 2016 sampai Desember 2016 dengan pengamatan sebanyak 138 pembuatan pakan ternak. Sampel yang diambil pada tahapan *bagging off* dengan pengambilan sampel setiap satu *line*. Setiap liniernya mampu memproduksi 6000 kg menjadi 120 karung dengan berat 50 kg per karungnya. Berikut ini adalah struktur data pada BR 1 SP *Crumble*.

Tabel 3.2 Struktur Data Penelitian

Pengamatan ke (i)	Karakteristik Kualitas(k)		
	X_1	X_2	X_3
1	x_{11}	x_{12}	x_{13}
2	x_{21}	x_{22}	x_{23}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
138	x_{1381}	x_{1382}	x_{1383}

3.4 Langkah Analisis

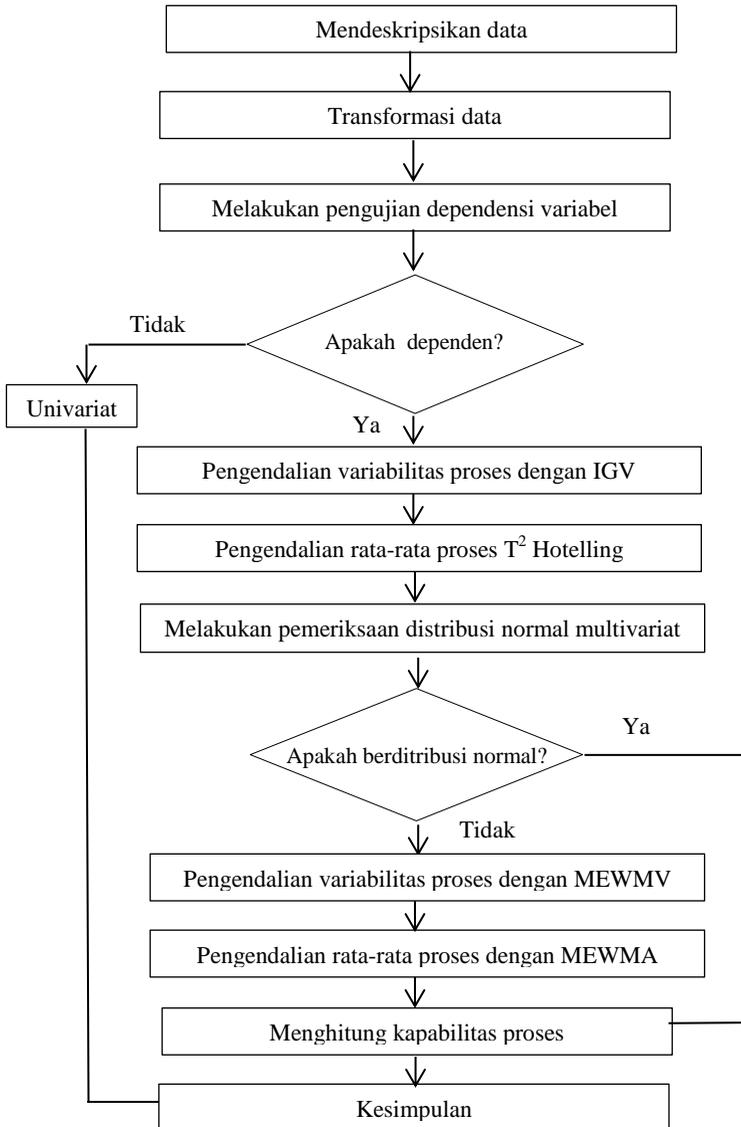
Langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Membuat deskripsi tentang hasil pengukuran karakteristik kualitas produk pakan ternak BR 1 SP *Crumble*.
2. Melakukan transformasi data dimana data yang dipakai merupakan data hasil selisih hasil pengukuran dengan batas tengah spesifikasi pada masing-masing karakteristik kualitas.
3. Melakukan pemeriksaan korelasi antar variabel dengan persamaan (2.1).
4. Membuat peta kendali *generalized variance* untuk pengamatan individu.
 - a. Membuat matriks **D** dengan persamaan (2.3).
 - b. Menghitung nilai statistik F dengan persamaan (2.6)
 - c. Membuat matriks **V** yang merupakan matriks *successive different* dengan persamaan (2.10).
 - d. Membuat matrik varian-kovarians sampel **S** dengan persamaan (2.9)
 - e. Menentukan batas diagram kontrol dengan persamaan (2.6) dan (2.8)
5. Membuat peta kendali T^2 *hotelling*.
 - a. Menghitung rata-rata masing-masing variabel
 - b. Membuat matriks **V** dengan persamaan (2.13)
 - c. Membuat matrik varian-kovarians sampel **S** dengan persamaan (2.12)

- d. Menghitung nilai statistik T^2 dengan persamaan (2.11)
- e. Menentukan batas diagram kontrol dengan persamaan (2.14) dan (2.15)
6. Melakukan pemeriksaan normal multivariat terhadap variabel karakteristik kualitas produk pakan ternak BR 1 SP *Crumble* dengan persamaan (2.2).
7. Membuat diagram kendali MEWMV.
 - a. Membuat matriks \mathbf{C} yang berukuran $m \times m$ dimana ω adalah diagonal utama dan merupakan nilai pembobot yang ditentukan sebelumnya.
 - b. Membuat matriks \mathbf{M} yaitu matrik segitiga bawah dengan elemen λ .
 - c. Membuat matrik \mathbf{I}_m merupakan matrik identitas berukuran $m \times m$
 - d. Menghitung nilai Q untuk mendapatkan $tr(\mathbf{V}_m)$
 - e. Menghitung $tr(\mathbf{V}_m)$ sesuai dengan persamaan (2.25).
 - f. Menghitung nilai $E(tr(\mathbf{V}_m))$ yaitu $p \ tr(\mathbf{Q})$ dan $Var(tr(\mathbf{V}_m))$ sesuai dengan persamaan (2.26).
 - g. Menentukan batas kendali setiap pengamatan ke n

$$E[tr(\mathbf{V}_m)] \pm L\sqrt{Var[tr(\mathbf{V}_m)]}$$
- h. Membuat diagram kendali MEWMA untuk pengendalian rata-rata proses. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.
 - a. Menetapkan nilai pembobot λ , $0,1 \leq \lambda \leq 0,9$, dengan h_4 yang sebelumnya telah ditentukan pada diagram kendali MEWMA.
 - b. Menghitung matriks varian kovarian Σ .
 - c. Menghitung vektor MEWMA \mathbf{z}_i
 - d. Menghitung statistik MEWMA yaitu T_i^2
- i. Mengidentifikasi penyebab pengamatan yang *out off control*.
- j. Menentukan nilai kapabilitas proses.
- k. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

Langkah analisis di atas dapat digambarkan pada diagram alir berikut



Gambar 3.1 Diagram Alir

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kandungan air, calcium dan protein di PT. JCI Cabang Sidoarjo merupakan tiga dari beberapa karakteristik kualitas yang menjadi pertimbangan suatu produk dapat dilepas dipasaran. Kandungan air yang terdapat memengaruhi seberapa lama pakan ternak akan lama untuk disimpan, untuk kandungan protein digunakan untuk sumber energi sedangkan kandungan calcium digunakan ternak untuk pertumbuhan tulang. Kandungan yang berlebih pada setiap karakteristik kualitas akan berpengaruh besar pada kualitas yang akan dihasilkan.

PT. JCI Cabang Sidoarjo yang merupakan salah satu perusahaan pakan ternak terbesar di Indonesia berusaha untuk menghasilkan pakan ternak dengan kualitas terbaik sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Hal ini dilakukan dengan selalu meminimalisir faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya kesalahan, yang bisa terjadi dari internal ataupun eksternal. Oleh karena itu, untuk mengetahui kestabilan proses produksi pakan ternak BR 1 SP *Crumble* akan dilakukan monitoring proses produksi pakan ternak .

4.1 Deskripsi Kualitas Pakan Ternak

Pada produk BR 1 SP *Crumble* diketahui batas spesifikasi yang berbeda pada setiap kode resep yang ada maka akan diambil batas spesifikasi masing-masing kode resep Tabel 3.1 Sehingga spesifikasi dari produk BR 1 SP *Crumble* untuk gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas pada periode Oktober hingga Desember 2016 maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 4.1 berikut.

Rata-rata kandungan air yang ada di dalam pakan ternak untuk produksi BR 1 SP *Crumble* sebesar 10,795% yang menunjukkan bahwa nilai tersebut masih berada pada batas spesifikasi. Begitu juga dengan nilai minimum dan maksimum yang bernilai 9,66% dan 11,170%. Nilai tersebut keluar dari batas spesifikasi kode resep B1S209, B1S2016, dan B1S2017 yang

dapat dilihat pada Tabel 3.1. Jadi dikatakan bahwa hasil pengukuran pada kandungan air terdapat produk yang tidak sesuai dengan spesifikasinya. Varians yang ada sebesar 0,0487 dikatakan produk memiliki varians yang cukup besar.

Tabel 4.1 Deskripsi Karakteristik Kualitas

Variabel	Target	Mean	Varians	Min.	Maks.	Koef. Variansi
Air	11,06	10,795	0,0487	9,660	11,170	0,004
Calsium	0,785	0,789	0,002	0,689	0,868	0,002
Protein	20,93	21,157	0,114	20,22	21,820	0,005

Sedangkan untuk kandungan calsium yang ada di dalam pakan ternak untuk produksi BR 1 SP *Crumble* sebesar 0,789% yang menunjukkan bahwa nilai tersebut masih berada pada batas spesifikasi. Begitu juga dengan nilai minimum dan maksimum yang bernilai 0,698% dan 0,868%. Nilai tersebut masih berada dalam dari batas spesifikasi maka dikatakan produk masih dalam batas spesifikasi dengan varians sebesar 0,002 dikatakan produk memiliki varians yang cukup besar.

Begitu juga untuk kandungan protein yang ada di dalam pakan ternak untuk produksi BR 1 SP *Crumble* sebesar 21,157% yang menunjukkan bahwa nilai tersebut masih berada pada batas spesifikasi. Begitu juga dengan nilai minimum dan maksimum yang bernilai 20,220% dan 21,820%. Nilai tersebut masih berada dalam dari batas spesifikasi maka dikatakan produk masih dalam batas spesifikasi dengan varians sebesar 0,114 dikatakan produk memiliki varians yang cukup besar. Berdasarkan hasil koefisien variansi, variabel yang memiliki variansi terbesar terdapat pada variabel protein.

4.2 Pemeriksaan Dependensi Kandungan Air, Calsium, dan Protein

Karakteristik yang digunakan dalam penelitian ini adalah kandungan air, kandungan calsium, dan kandungan protein. Ketiga karakteristik ini memiliki batas spesifikasi yang berbeda-beda sehingga mencari selisih antara hasil pengukuran dengan batas tengah spesifikasinya. Pemeriksaan dependensi ini

dilakukan dengan menggunakan uji Barlett. Pemeriksaan Berdasarkan persamaan 2.1 dari data pada Lampiran A, didapatkan nilai chi-square sebesar 4,803 dan nilai tabel chi-square sebesar $X^2_{(0,05;3)}$ sebesar 7,815 yang dapat disimpulkan bahwa tidak ada korelasi antar karakteristik kualitas yaitu kandungan air, kandungan calsium, dan kandungan protein.

Hubungan antara kandungan air, protein dan calsium secara statistik berbeda dengan hubungan secara konsep. Secara konsep, kandungan calsium yang tinggi akan mengakibatkan kandungan protein semakin rendah. Sedangkan kandungan air yang tinggi akan mengakibatkan kandungan protein menjadi rendah juga. Perbedaan kesimpulan yang didapat secara empiris dan konsep tersebut disebabkan karena sampel yang digunakan didapatkan dari alat ukur yang berbeda. Kandungan protein didapatkan dengan menguji pakan tenak menggunakan alat NIRFOSS dan kandungan air dan calsium didapatkan dengan dilakukan pengujian di laboratorium *quality control* PT. JCI Cabang Sidoarjo, sehingga sampel yang digunakan di laboratorium tidak dapat digunakan di NIRFOSS, begitu pula sebaliknya. Meskipun demikian, analisis pengendalian kualitas menggunakan diagram kendali multivariat dapat dilakukan, didasarkan pada konsepnya, maka secara statistik antar kualitas memiliki hubungan.

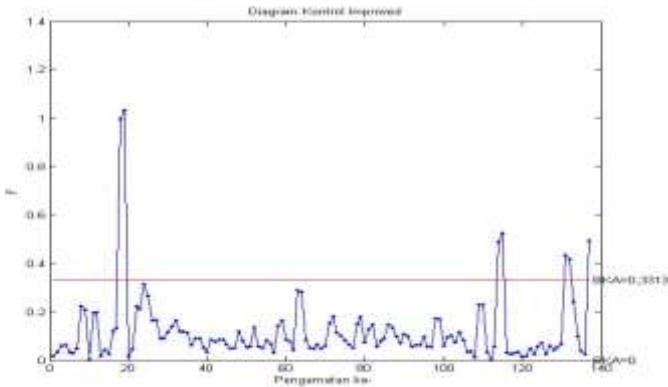
4.3 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP *Crumble*

Pengendalian variabilitas proses degan menggunakan peta kendali *Improved Generalized Variance* Individu dengan menggunakan data selisih antara hasil pengukuran dengan nilai tengah batas spesifikasi produk BR 1 SP *Crumble* dari bulan Oktober sampai Desember 2016.

Plot dari nilai F untuk masing-masing observasi yang didapatkan dari persamaan (2.6). Sebelum menghitung nilai F maka akan dihitung nilai D dari persamaan (2.3) terlebih dahulu. Misalnya saja pada pengamatan yang pertama maka akan tampak sebagai berikut

$$D = \begin{pmatrix} 0,0090 & 0,0024 & 0,0085 \\ 0,0024 & 0,0006 & 0,0022 \\ 0,0085 & 0,0022 & 0,0081 \end{pmatrix}$$

Maka akan didapatkan $Tr(D^2) = 3,1329 \times 10^{-4}$ sehingga nilai F dari persamaan (2.6) didapatkan sebesar 0,0177. Begitu juga pada pengamatan yang lain. Berikut ini adalah hasil plot nilai F.



Gambar 4.1 Diagram Kendali IGV

Gambar 4.1 menunjukkan plot nilai F yang didapatkan enam nilai yang keluar dari batas kendali pada pengamatan ke-18, 19, 114, 115, 132 dan 137. Pada persamaan (2.7) didapatkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 0,3313 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0. Pada pengamatan ke 19 diperoleh hasil F sebesar 1,0317.

4.4 Pengendalian Rata-rata Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP Crumble

Pengendalian rata-rata proses degan menggunakan peta kendali T^2 Hotelling dengan pengamatan Individu dengan menggunakan data selisih antara hasil pengukuran dengan nilai tengah batas spesifikasi produk BR 1 SP *Crumble* dari bulan Oktober sampai Desember 2016.

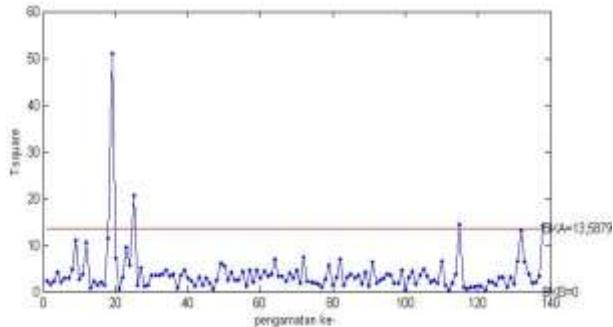
Menghitung nilai T^2 dari persamaan (2.11), untuk mengitung nilai pada pengamatan pertama maka dengan mencari nilai S_2 dari persamaan (2.12) kemudian dicari invers sehingga diperoleh

$$S_2^{-1} = 0,001 \begin{pmatrix} 0,0296 & 0,0503 & 0,0005 \\ 0,0503 & 1,6468 & -0,0257 \\ 0,0005 & -0,0257 & 0,0269 \end{pmatrix}$$

Dan nilai dari

$$(X_{ij} - \bar{X}_j) = (0,1227 \quad 0,0301 \quad 0,0105)$$

Maka dari hasil persamaan 2.11 didapatkan nilai T^2 untuk pengamatan pertama sebesar 2,2931.



Gambar 4.2 Diagram Kendali T^2 Hotelling

Plot dari nilai T^2 untuk masing-masing observasi yang didapatkan dari persamaan (2.11) sebanyak 138 pengamatan. Gambar 4.2 menunjukkan plot nilai T^2 yang didapatkan empat nilai yang keluar dari batas kendali pada pengamatan ke 19, 25, 115, dan 138. Pada persamaan (2.14) didapatkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 13,5 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0 dengan nilai tertinggi sebesar 51,0128

4.5 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat

Pemeriksaan asumsi normal multivariat dilakukan untuk ketiga karakteristik kualitas yaitu kandungan air, calsium, dan protein. Pemeriksaan ini menggunakan uji *Shapiro-Wilk* diperoleh p -value sebesar $1,065 \times 10^{-8}$ maka didapatkan gagal tolak H_0 sehingga dapat disimpulkan pakan ternak tidak mengikuti pola

persebaran normal multivariat. Sebelumnya dilakukan diagram kendali T^2 Hotelling dan IGV karena diagram tersebut merupakan diagram yang paling populer untuk diagram kendali multivariat akan tetapi diagram ini digunakan untuk data yang memiliki asumsi normal multivariat. Karena asumsi normalitas tidak terpenuhi maka akan dilakukan pengendalian kualitas pakan ternak tipe BR 1 SP *Crumble* dengan menggunakan diagram kendali baru yaitu dengan diagram kendali MEWMV dan MEWMA merupakan diagram kendali multivariat yang *robust* terhadap normal multivariat (Montgomery, 2009).

4.6 Pengendalian Variabilitas Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP *Crumble* dengan MEWMV

Pengendalian variabilitas proses produksi pakan ternak BR 1 SP *Crumble* menggunakan diagram kendali MEWMV. Diagram kendali ini menggunakan pembobot ω dan λ . Sebelumnya dilakukn perhitungan pergeseran secara univariat didapatkan bahwa pergeseran proses secara univariat sebesar 1,53 sigma untuk kandungan air, 0,08 sigma untuk kandungan calsium dan 0,915 sigma untuk kandungan protein sedangkan untuk pergeseran sigma secara multivariat sebesar 2,775 sigma.

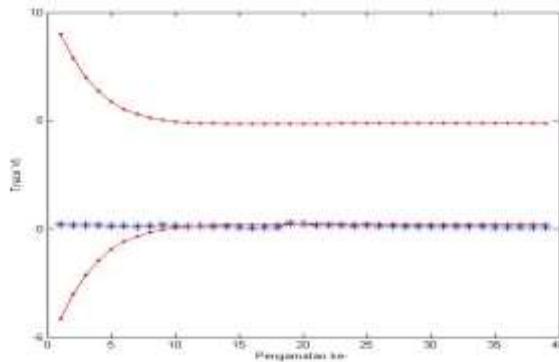
Pada penelitian kali akan dicari nilai pembobot dari ω dan λ yang paling realistis. Mencari pembobot ini dilakukan dengan cara mengkombinasikan nilai ω dan λ terlebih dahulu kemudian menentukan nilai ω dan λ yang akan dipakai. Dari hasil Tabel 4.2 didapatkan bahwa dengan menggunakan ω sebesar 0,3 dengan λ sebesar 0,3 didapatkan bahwa pengamatan tidak ada yang keluar dari batas kendali atas maupun bawah. Ini menandakan jika menggunakan pembobot nilai ω lebih dari tiga maka pengamatan tidak ada yang keluar dari batas kendali atau proses sudah dikatakan *in control*. Pada kenyatan dilapangan bahwa pada produksi pakan ternak BR 1 SP *Crumble* terdapat pengamatan yang keluar dari batas spesifikasi perusahaan. Apalagi jika menggunakan diagram yang dilakukan secara multivariat akan membuat digram menjadi lebih sensitif. Jadi pada penelitian kali

ini peneliti menggunakan ω sebesar 0,2 dengan λ dari 0,1 sampai 0,9. Nilai pembobot ini dirasa paling cocok untuk digunakan.

Tabel 4.2 Nilai ω dan λ untuk MEWMV

ω	λ	L	Out off control	Max Tr(Vn)	BKA	BKB
0,1	0,1	2,900	131	0,0366	3,9057	1,2100
0,2	0,2	3,3086	125	0,0201	4,0856	0,1811
0,3	0,3	3,6602	0	0,0108	3,9520	-0,4932
0,4	0,4	3,9219	0	0,0055	3,5767	-0,8767
0,5	0,5	4,1191	0	0,0025	3,0099	-1,0099
0,6	0,6	4,2715	0	0,0013	2,3104	-0,9390
0,7	0,7	4,3836	0	0,0005	1,5468	-0,7160
0,8	0,8	4,4590	0	0,0001	0,8134	-0,4134
0,9	0,9	4,4984	0	0,00002	0,2394	-0,1303

Nilai pembobot paling kecil yang disarankan untuk diagram kendali MEWMV adalah $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,1$. Gambar 4.3 adalah hasil plot $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ untuk kedua nilai pembobot tersebut.



Gambar 4.3 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,1$

Gambar 4.3 menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ dari persamaan (2.25) dari pengamatan ke 1 sampai 40 dengan nilai batas kendali untuk masing-masing observasi berbeda-beda. Berikut ini

merupakan nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ pada pengamatan ke tiga dengan membuat matriks \mathbf{C} dimana diagonal utama adalah pembobot yang ditentukan yaitu 0,2 didapat

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 0,64 & 0 & 0 \\ 0 & 0,16 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2 \end{pmatrix}$$

Dan kemudian mencari nilai \mathbf{M} matriks segitiga bawah dengan elemen λ maka akan diperoleh hasil

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0 & 0 \\ 0,09 & 0,1 & 0 \\ 0,081 & 0,09 & 0,1 \end{pmatrix}$$

Selanjutnya membentuk matrik \mathbf{I} dengan ukuran 3×3

$$\mathbf{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Dari persamaan (2.24) maka akan diperoleh hasil \mathbf{V}_m berukuran 3×3

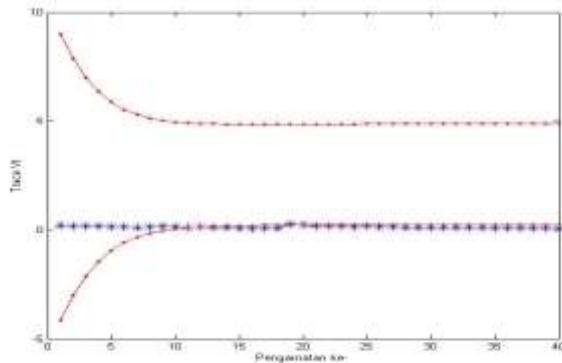
$$\mathbf{V}_m = \begin{pmatrix} 0,1285 & 0,0618 & 0,1422 \\ 0,0086 & 0,0045 & 0,0079 \\ 0,0406 & 0,0183 & 0,0530 \end{pmatrix}$$

Maka dari persamaan (2.25) diperoleh nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ pada pengamatan ke 3 sebesar 0,186.

Batas kendali dipengaruhi oleh nilai L yang tergantung pada pembobot ω dan λ yang digunakan, dapat dilihat pada Lampiran D. Nilai L untuk $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,1$ sebesar 3,3105, sehingga dengan menggunakan persamaan (2.27) didapatkan nilai batas kendali atas (BKA) maksimum sebesar 4,8756 dan batas kendali bawah (BKB) sebesar 0,2402. Berdasarkan nilai pembobot tersebut, terdapat 125 pengamatan yang keluar batas kendali bawah. Pada pengamatan ke- 1 sampai dengan pengamatan ke-11 didapatkan bahwa pengamatan berada didalam batas kendali. Kemudian pada pengamatan ke-12 sampai pengamatan ke 18 keluar dari batas bawah kemudian pada pengamatan ke-19 masuk kedalam batas kendali. Setelah pengamatan ke-19 sampai 137 berada diluar batas kendali sehingga dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik. Kemudian dilanjutkan

dengan untuk diagram kendali MEWMV adalah $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,2$. Pada diagram kendali ini menggunakan nilai L sebesar 3,3086.

Pada Gambar 4.4 ini tidak berbeda jauh pada diagram kendali MEWMV sebelumnya dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,1$, titik pengamatan yang didalam dari batas kendali sama yaitu pada titik ke-1 sampai ke-11, pengamatan ke-19, dan pengamatan 138. Pengamatan yang keluar dari batas kendali juga sama yaitu 125. Batas kendali atas maksimum sebesar 4,0856 dan batas kendali bawah sebesar 0,1811. Dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik.

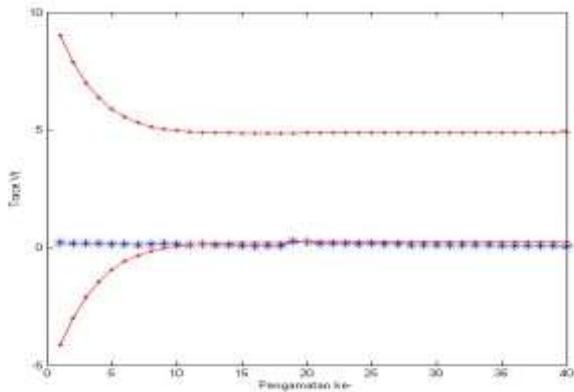


Gambar 4.4 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,2$

Pengendalian variabilitas proses juga dilakukan untuk pembobot $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,3$. Plot dari $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ yang didapatkan berdasarkan persamaan (2.25) disajikan pada Gambar 4.4 berikut.

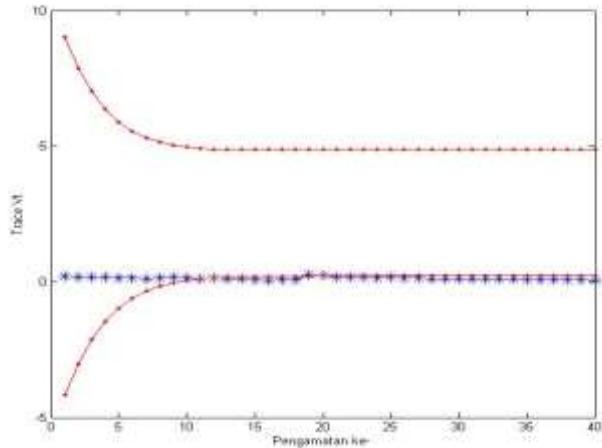
Hasil pengendalian variabilitas dengan pembobot $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,3$ memperoleh batas kendali yang lebih sempit dari pembobot yang telah dicobakan sebelumnya dimana batas kendali atas maksimum dan bawah untuk pembobot ini berturut-turut sebesar 3,3359 dan 0,1229. Gambar 4.4 menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ yang bermula dari observasi ke-9, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran H. Pada diagram kendali ini pengamatan yang keluar dari batas kendali adalah sebanyak 119 sedangkan

pengamatan yang berada pada batas kendali adalah pengamatan ke-1 sampai ke-12 kemudian pengamatan ke-19 sampai 20 dan pengamatan ke 138. Maka dapat disimpulkan bahwa diagram kendali belum terkendali secara statistik.



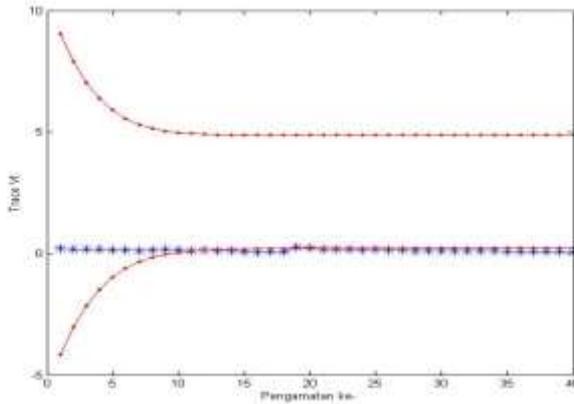
Gambar 4.5 Diagram Kendali MEWMAV dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,3$

Kemudian dilanjutkan dengan diagram kendali MEWMAV sebelumnya dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,4$ dengan nilai L sebesar 3,3213. Plot $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$ disajikan pada Gambar 4.6, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran H. Nilai batas kendali atas sebesar 2,6240 sedangkan batas kendali bawah sebesar 0,0760. Pada diagram kendali ini pengamatan yang keluar batas kendali sebanyak 119 semakin sedikit jika dibandingkan dengan menggunakan pembobot yang sebelumnya. Pengamatan yang masuk dalam batas kendali adalah pengamatan ke-1 sampai 13 kemudian pengamatan ke-19 sampai 23 dan pengamatan ke-138. Proses dapat dikatakan belum terkendali karena ada titik berada diluar batas kendali ketika proses mulai stabil.



Gambar 4.6 Diagram Kendali MEWMA dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,4$

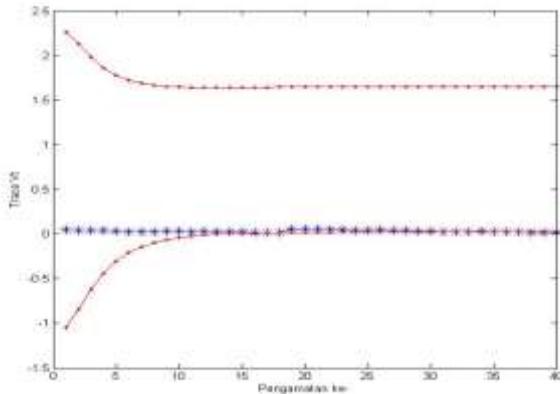
Selanjutnya menggunakan pembobot $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,5$ dengan nilai L sebesar 3,3340. Pada diagram kendali ini pengamatan yang keluar batas kendali sebanyak 108 pengamatan lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembobot sebelumnya sedangkan pengamatan yang berada dalam batas kendali adalah pengamatan ke-1 sampai 15, kemudian pengamatan ke-19 sampai 29 . pengamatan ke-133 sampai 135 dan pengamatan ke 138. Nilai batas kendali atas sebesar 1,9624 sedangkan batas kendali bawah sebesar 0,0376 . Proses dapat dikatakan belum terkendali karena ada titik berada diluar batas kendali ketika proses mulai stabil.



Gambar 4.7 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,5$

Kemudian dilakukan juga dengan menggunakan $\lambda = 0,55$ dengan nilai ω sama yaitu $0,2$. Setelah dilakukan plot terhadap nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$, didapatkan sebanyak 81 pengamatan diluar batas kendali. Kombinasi dari nilai ω dan λ yang juga digunakan dalam diagram kendali MEWMV kemudian adalah $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$ dengan nilai L sebesar $3,3438$. Gambar 4.8 menunjukkan plot $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$, lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran F. Nilai batas kendali atas yang diperoleh sebesar $1,3593$ sedangkan batas kendali bawah maksimum sebesar $0,0121$. Hasil analisis yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.8, dimana berdasarkan nilai pembobot tersebut terdapat 32 observasi yang berada di luar batas kendali. Meskipun data yang *out of control* semakin sedikit juga batas kendalnya lebih sempit. Dengan demikian pembobot ini dianggap sensitif dibandingkan pembobot yang lainnya.

Kemudian dilakukan juga dengan menggunakan $\lambda = 0,65$ dengan nilai ω sama yaitu $0,2$. Setelah dilakukan plot terhadap nilai $\text{tr}(\mathbf{V}_m)$, didapatkan sebanyak 0 pengamatan diluar batas kendali.



Gambar 4.8 Diagram Kendali MEWMV dengan $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,55$

Selisih yang paling minimum dari $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_m) - \text{BKB}|$ merupakan pembobot terbaik untuk mendeteksi adanya data *out of control* 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. Pemilihan pembobot optimum disajikan pada Tabel 4.3 yang menunjukkan bahwa nilai $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_m) - \text{BKB}|$ yang paling minimum adalah 0,005. Nilai tersebut dengan menggunakan nilai $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$ dengan jumlah pengamatan yang berada diluar batas kendali sebanyak 32. Pada diagram kendali ini diperoleh BKA sebesar 1,3593 dan batas kendali bawah 0,0121 dan juga nilai dari $\text{Max tr}(\mathbf{V}_m)$ sebesar 0,0066. Maka bobot yang paling optimum untuk peta kendali MEWMV dengan menggunakan nilai $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$.

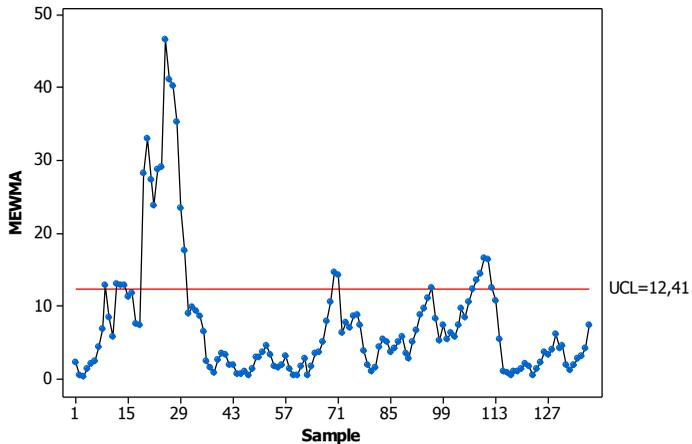
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai $|\max \text{tr}(\mathbf{V}_m) - \text{BKB}|$ Untuk MEWMV

ω	λ	L	Keluar dari batas	Max Tr(\mathbf{V}_m)	BKA	BKB	Selisih
0,2	0,1	3,3105	125	0,0242	4,8756	0,2402	0,216
0,2	0,2	3,3086	125	0,0201	4,0856	0,1811	0,161
0,2	0,3	3,3164	123	0,0164	3,3359	0,1229	0,106
0,2	0,4	3,3213	119	0,0129	2,6240	0,0760	0,063
0,2	0,5	3,3340	108	0,0096	1,9624	0,0376	0,028
0,2	0,55	3,3389	81	0,0081	1,6525	0,0234	0,015
0,2	0,6	3,3438	32	0,0066	1,3593	0,0121	0,005
0,2	0,65	3,3486	0	0,0053	1,0851	0,0038	-
0,2	0,7	3,3535	0	0,0040	0,8326	-0,0019	-
0,2	0,8	3,3594	0	0,0019	0,4056	-0,0056	-
0,2	0,9	3,3691	0	0,0005	0,1122	-0,0031	-

Pada pengendalian variabilitas proses menggunakan pembobot $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$ yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa proses belum terkendali secara statistik, karena masih terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali bawah sebanyak 32 pengamatan.

4.7 Pengendalian Rata-rata Proses Produksi Pakan Ternak Tipe BR 1 SP Crumble dengan MEWMA

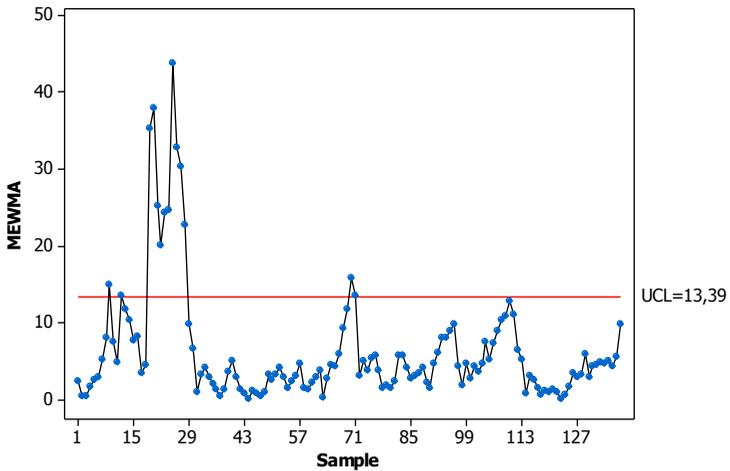
Pengendalian rata-rata proses pada pakan ternak dilakukan dengan menggunakan MEWMA. Nilai yang sudah terboboti oleh pembobot yang biasanya disebut T_1^2 diplotkan kedalam diagram kendali. Pembobot disimbolkan dengan λ , dimana nilai λ untuk masing-masing karakteristik kualitas diasumsikan sama karena tidak adanya pembobotan dari perusahaan. Nilai pembobot yang digunakan yaitu 0,1 sampai 0,9 dengan jarak selisih antar pembobot 0,1.



Gambar 4.9 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,1$

Titik yang diplotkan ke dalam diagram kendali adalah titik pengamatan yang didapatkan dari persamaan (2.29). pada titik ketiga 0,26 dimana sebelum menghitung Z_i yang merupakan nilai plot univariat EWMA dari tiap variabel dari persamaan (2.28). Pembobot yang digunakan untuk diagram kendali MEWMA yang pertama adalah 0,1 pembobot ini merupakan pembobot yang paling kecil. Pada Gambar 4.9 dengan menggunakan λ sebesar 0,1 didapatkan batas kendali atas (h_4) sebesar 12,41. Terlihat pada gambar terdapat 24 pengamatan yang keluar dari batas kendali. Pengamatan yang keluar dari batas kendali adalah pengamatan ke 9, 12, 13, 14, 18,19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 70, 71, 96, 108, 110, 111, dan 112. dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, grafik bergerak secara fluktuatif yang menandakan bahwa proses tidak stabil dengan nilai titik pengamatan tertinggi (T_1^2) sebesar 46,75.

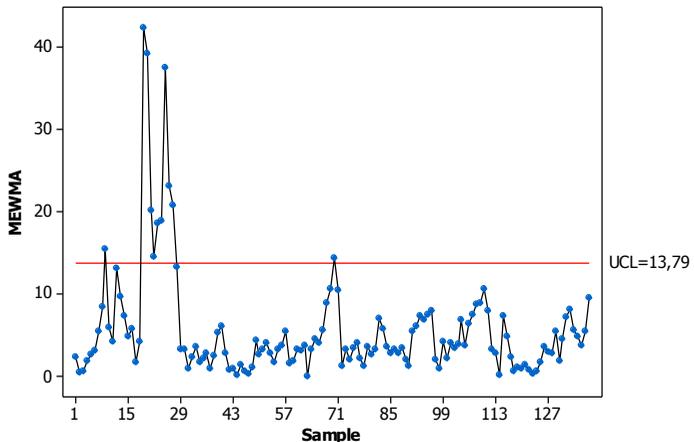
Pengendalian rata-rata proses untuk $\lambda = 0,2$ dilakukan untuk perbandingan pembobot sebelumnya. Hasil diagram kendali untuk pembobot 0,2 ditampilkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,2$

Pengendalian rata-rata proses menggunakan pembobot (λ) sebesar 0,2 menghasilkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 13,39, dimana pembobot ini lebih besar daripada sebelumnya. Titik pengamatan tertinggi (T_i^2) sebesar 43,80 pada pengamatan ke 25. Pada diagram kendali ini jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 14 pengamatan yaitu pada pengamatan ke 9, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 70, dan 71. Tetapi ada juga yang mendekati batas kendali atas sebanyak tiga pengamatan yaitu pengamatan ke 13, 69, dan 113. Jika dibandingkan dengan pembobot 0,1 maka pembobot 0,2 memiliki batas kendali atas yang jauh lebih lebar dan memiliki jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembobot sebelumnya dan juga memiliki titik maksimum yang lebih kecil yaitu sebesar 43,8. Berhubung ada data yang keluar dari batas kendali, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.

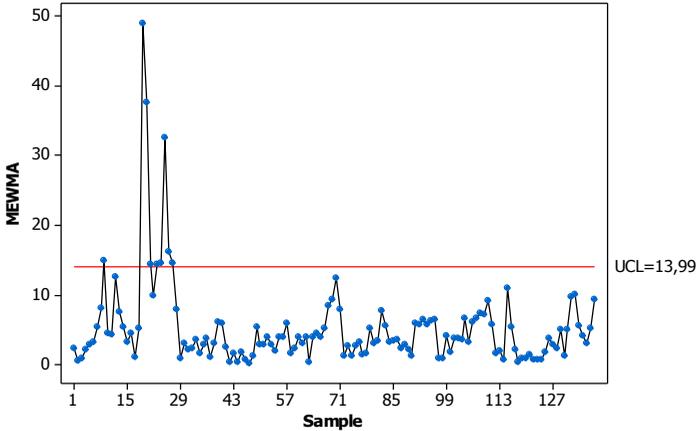
Hasil pengendalian rata-rata proses dengan menggunakan pembobot sebesar 0,3 sebagai pembandingan dengan pengendalian sebelumnya dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,3$

Sama seperti dua diagram kendali sebelumnya menghasilkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 13,79, dimana pembobot ini lebih besar daripada sebelumnya. Titik pengamatan tertinggi (T_1^2) sebesar 42,36 dimana batas kendali ini lebih lebar dibandingkan dengan pembobot sebelumnya. Pada diagram kendali ini jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 11 pengamatan yaitu pada pengamatan ke 9, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, dan 70. Jika dibandingkan dengan pembobot sebelumnya memiliki batas kendali atas yang jauh lebih lebar dan memiliki jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembobot sebelumnya dan juga memiliki titik maksimum yang lebih kecil. Berhubung ada data yang keluar dari batas kendali, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.

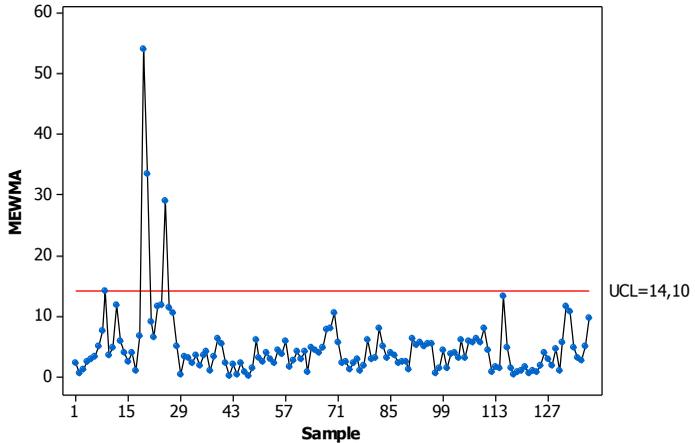
Pengendalian kualitas juga dilakukan untuk pembobot sebesar 0,4. Berikut adalah hasil pengendalian rata-rata proses untuk pembobot tersebut.



Gambar 4.12 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,4$

Banyaknya data yang keluar batas atas sebanyak 10 pengamatan yaitu yaitu pada pengamatan ke 9, 12, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, dan 27. Jumlah pengamatan ini juga lebih sedikit dari pembobot sebelumnya. Titik pengamatan tertinggi (T_i^2) sebesar 48,91. Batas kendali atas juga semakin lebar yaitu sebesar 13,99. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.

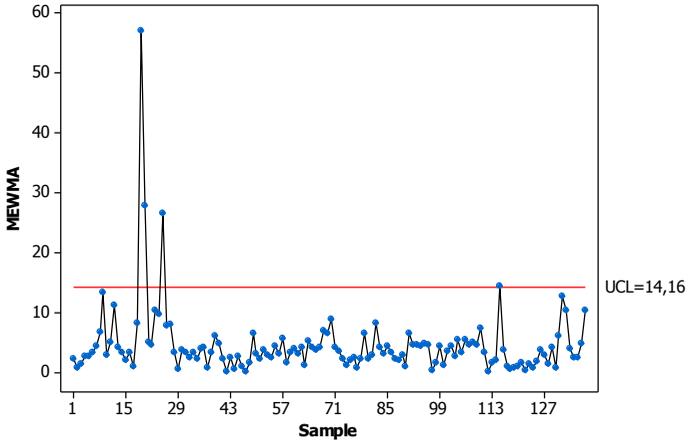
Selanjutnya dilakukan pengendalian rata-rata proses produksi pakan ternak dengan pembobot yang digunakan sebesar 0,5. Hasilnya adalah sebagai berikut.



Gambar 4.13 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,5$

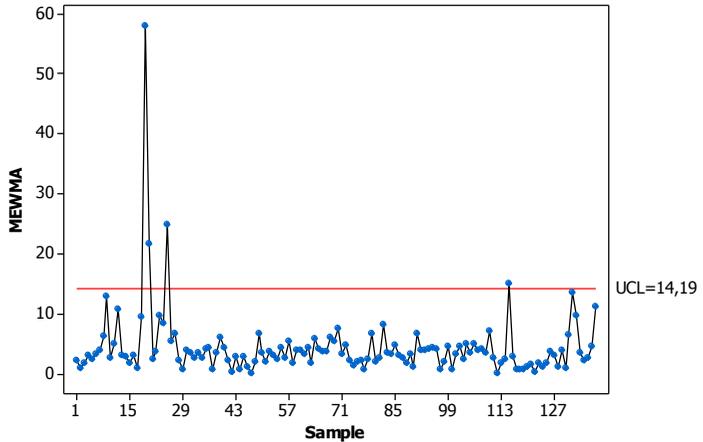
Pada pembobot 0,5 didapatkan bahwa batas kendali atas sebesar 14,10 seperti sebelumnya juga batas kendali atas ini semakin lebar. Sedangkan pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 4 pengamatan yaitu pengamatan ke 9, 19, 20, dan 25. Titik pengamatan tertinggi (T_i^2) sebesar 53,96. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.

Pengendalian rata-rata proses selanjutnya dilakukan untuk pembobot sebesar 0,6. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.14. Pada pembobot 0,6 didapatkan bahwa batas kendali atas sebesar 14,16 seperti sebelumnya juga batas kendali atas ini semakin lebar. Sedangkan pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 4 pengamatan yaitu pengamatan ke 9, 20, 25 dan 115. Titik pengamatan tertinggi (T_i^2) sebesar 53,96 yang terletak pada pengamatan ke 19. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.



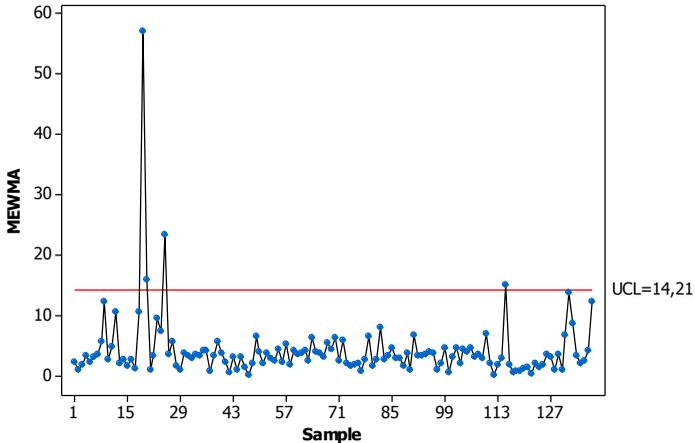
Gambar 4.14 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,6$

Pengendalian rata-rata proses dengan diagram kendali MEWMA juga dilakukan untuk nilai pembobot 0,7. Diagram kendali untuk pembobot ini disajikan pada Gambar 4.13 hasilnya sama seperti dua diagram kendali sebelumnya menghasilkan nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 14,19, dimana pembobot ini lebih besar daripada sebelumnya. Titik pengamatan tertinggi (T_1^2) sebesar 57,97. Pada diagram kendali ini jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 4 pengamatan yaitu pada pengamatan ke 9, 20, 25, dan 115 yang sama dengan pembobot sebelumnya. Jika dibandingkan dengan pembobot sebelumnya memiliki batas kendali atas yang jauh lebih lebar. Berhubung ada data yang keluar dari batas kendali, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.



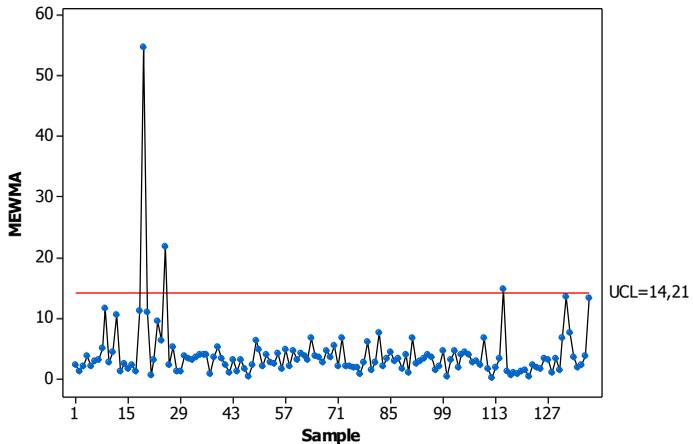
Gambar 4.15 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,7$

Kemudian dilanjutkan pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMA terhadap rata-rata proses dengan nilai pembobot sebesar 0,8 disajikan pada Gambar 4.16, terlihat banyaknya data yang keluar batas atas sebanyak 4 pengamatan yaitu yaitu pada pengamatan 19, 20, 25, dan 115. Jumlah pengamatan yang keluar sama jika peneliti menggunakan pembobot 0,7 dan 0,6. Titik pengamatan tertinggi (T_1^2) sebesar 57,06. Batas kendali atas juga semakin lebar yaitu sebesar 14,21. Dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif. Secara keseluruhan jika menggunakan pembobot dengan nilai 0,6 kemudian 0,7 dan 0,8 memiliki jumlah pengamatan yang keluar sama yaitu empat dengan pengamatan yang sama. Hanya batas kendali atas yang semakin lama semakin lebar.



Gambar 4.16 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,8$

Kemudian dilanjutkan dengan pembobot yang paling besar yaitu 0,9. Hasilnya ada pada Gambar 4.17, didapatkan hasil nilai batas kendali atas (BKA) sebesar 14,21, dimana pembobot ini paling besar daripada sebelumnya. Titik pengamatan tertinggi (T_1^2) sebesar 54,64 pada pengamatan ke 19. Pada diagram kendali ini jumlah pengamatan yang keluar dari batas kendali sebanyak 4 pengamatan yaitu pada pengamatan ke 19, 25, dan 115. Pada pembobot ini adalah pembobot yang memiliki batas kendali atas paling lebar dan jumlah pengamatan yang diluar batas kendali paling sedikit. Berhubung ada data yang keluar dari batas kendali, dapat disimpulkan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik. Selain itu, proses juga terlihat tidak stabil karena grafik bergerak secara fluktuatif.



Gambar 4.17 Diagram Kendali MEWMA dengan $\lambda = 0,9$

Batas kendali yang semakin lebar pada setiap bertambahnya bobot dijadikan pertimbangan untuk memilih bobot yang terbaik. Hal tersebut dikarenakan semakin besarnya kesalahan dalam mengidentifikasi proses yang berada diluar batas kendali (*out of control*) menjadi didalam batas kendali (*in control*). Semakin lebar batas kendali untuk pembobot ini menyebabkan peluang suatu titik jatuh di luar batas kendali semakin kecil sehingga pada pembobot 0,5 sampai 0,9 memiliki jumlah proses yang berada diluar batas kendali semakin sedikit. Pada diagram ini sama seperti diagram kendali T^2 hotelling berdasarkan pada jumlah out pada pengamatan.

Pemilihan bobot terbaik dengan mencari selisih minimum dari titik pengamatan yang maksimum dengan batas kendali atas (BKA) untuk masing-masing pembobot. Hasil dari perhitungan selisih tersebut akan ditampilkan pada Tabel 4.4. Berdasarkan hasilnya didapatkan bahwa batas kendali atas (BKA) semakin besar pembobotnya menjadi lebar pula batas kendalinya. Sehingga saat pembobotnya kecil membuat pengamatan banyak yang mengalami *out of control* sedangkan untuk pembobot yang besar membuat pengamatan yang tadinya keluar batas kendali

menjadi didalam batas kendali. Ketika menggunakan pembobot antara 0,1 sampai 0,9 semua diagram kendali yang dihasilkan memiliki pengamatan yang keluar dari batas kendali.

Pertimbangan lainnya juga didasari pada lebarnya batas kendali. Semakin lebar batas kendali akan menyebabkan semakin banyaknya pengamatan yang sebelumnya berada diluar kendali menjadi didalam batas kendali. Jika kasus ini terjadi akan maka resiko konsumen akan semakin besar. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka akan dipilih pembobot 0,3 sebagai pembobot optimal untuk mengendalikan rata-rata proses diagram kendali MEWMA. Nilai batas kendali atas sebesar 13,79 yang dihasilkan oleh pembobot ini merupakan nilai batas kendali yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan pembobot lainnya. Selain itu, selisih antara titik pengamatan maksimum dan batas kendali atas yang menunjukkan resiko produsen merupakan selisih yang paling kecil yaitu 28,57. Hasil pengendalian menggunakan diagram kendali MEWMA dengan pembobot 0,3 pada data produksi pakan ternak BR 1 SP *Crumble* memberikan kesimpulan bahwa rata-rata proses tidak terkendali secara statistik karena terdapat sebelas titik yang berada di luar batas kendali.

Tabel 4.4 Selisih Antara Titik Pengamatan Maksium dan BKA

λ	BKA	Titik Maksimum	Selisih
0,1	12,41	46,75	34,34
0,2	13,39	43,80	30,41
0,3	13,79	42,36	28,57
0,4	13,99	48,91	34,92
0,5	14,10	53,96	39,86
0,6	14,16	57,00	42,84
0,7	14,19	57,97	43,78
0,8	14,21	57,06	42,85
0,9	14,21	54,64	40,43

4.8 Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali

Pada diagram kendali MEWMA didapatkan bahwa nilai pembobot yang paling optimum dengan nilai pembobot 0,3. Pada diagram ini masih terdapat pengamatan yang berada diluar batas kendali yaitu sebanyak 11 pengamatan. Penyebab terjadinya akan ditunjukkan pada 4.18.

Setelah melakukan *brainstorming* dengan pihak produksi, kesalahan yang terjadi adalah karena adanya faktor mesin yaitu sarangan yang digunakan berlubang sehingga ukuran pakan ternak yang dihasilkan tidak sama itu akan menyebabkan saat dilakukan pengecekan produk yang dihasilkan tidak akurat sehingga akan mempengaruhi kandungan calsium dan protein. Kemudian saat masuk kedalam mesin press dan penguapan setelah bahan dicampur, bahan akan dipress dan diuapi. Saat proses ini suhu yang digunakan diantara 80°C-90°C. Apabila suhu dibawah 80°C maka kandungan air yang ada terlalu banyak menyebabkan pakan menjadi mudah busuk, jika diatas 90°C maka pakan akan terlalu keras dan kandungan nutrisinya hilang.

Ketelitian dari operator sangat penting, karena semua mesin yang ada akan dioperasikan oleh operator. Operator yang kurang memperhatikan saat dilakukan penimbangan terhadap bahan baku. Kurang teliti juga saat melakukan pengecekan terhadap suhu mesin dan juga suhu ampere. Selain keua faktor tersebut faktor lingkungan juga berpengaruh besar yaitu suhu dan kebersihan. Sebelum melakukan pengemasan terhadap produk, produk akan terlebih dahulu didinginkan. Proses pendinginan ini menggunakan suhu luar dari mesin atau suhu ruangan sehingga suhu ini akan berpengaruh terhadap proses pendinginan produk. Ini terjadi pada proses *Cooler*. Kemudian kebersihan erat kaitannya dengan terjadinya kontaminasi. Adanya kontaminasi produk satu dengan yang lainnya mengakibatkan produk tidak dapat dilepas kepasar karena kandungan dari pakan ternak yang dihasilkan akan berbeda.

Kesalahan pemasukan formula ini karena bahan baku yang digunakan bermacam-macam sehingga kode resep atau

formulanya yang dimasukan juga berbeda-beda. Kesalahan yang dilakukan akan berdampak pada kandungan yang ada dalam pakan ternak. Kualitas bahan baku yang merupakan elemen dari *material* dan biasanya mengandung logam, alumunium atau material lainnya akan menyebabkan pakan ternak terkontaminasi dengan bahan yang tak seharusnya dan berakibat pada kandungan pakan ternak.

Setelah dilakukan penelusuran terhadap pengamatan yang berada diluar batas kendali maka diharapkan perusahaan dapat mengatasi permasalahan yang ada. Perbaikan yang perlu dilakukan adalah pembersihan bin, *elevator* dan *conveyor* untuk meminimalisir adanya kontaminasi dengan pakan ternak tipe lain, pemeriksaan bahan baku yang lebih ketat agar tidak mengandung alumunium atau logam lainnya yang akan menyebabkan sarangan sering berlubang, mengadakan pelatihan kepada operator untuk meningkatkan ketrampilannya dalam mengoperasikan mesin dan mengurangi adanya kesalahan yang sering diabaikan.

4.9 Kapabilitas Proses

Kapabilitas digunakan untuk mengetahui kinerja proses yang diukur melalui keseragaman produk yang dihasilkan. Proses dikatakan kapabel apabila proses berada dalam baras spesifikasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses hasil outpunya memiliki karakteristik yang sama. Indeks yang digunakan untuk menghitung kapabilitas dalam penelitian ini adalah P_p dan P_{pk} karena proses belum terkendali secara statistik.

Pada penelitian ini karena batas spesifikasi yang berbeda-beda maka pada setiap kode resep maka terdapat batas spesifikasi yang berbeda pada setiap kode resep yang ada. Dari semua kode resep ini adalah dihitung kapabilitasnya secara multivariat maupun univariate. Perhitungan kapabilitas dilakukan secara univariat dan multivariat. Secara univariat berarti pengukuran kapabilitas proses untuk masing-masing kandungan air, calsium dan protein. Sesuai dengan persamaan (2.30) dan (2.31) didapatkan hasil perhitungan indeks kapabilitas proses secara univariat pada setiap batas spesikasinya.

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan bahwa nilai P_p dan P_{pk} pada setiap kode resep yang ditentukan sebagai berikut

Tabel 4.5 Kapabilitas Proses Secara Univariat

Kode Resep	Kabilitas	Batas Spesifikasi		
		Moist	Calcium	Protein
B1S205	P_p	2,99	1,12	1,18
	P_{pk}	1,79	0,90	0,86
B1S206	P_p	1,30	0,87	1,12
	P_{pk}	0,64	0,78	0,95
B1S207	P_p	1,59	0,76	1,13
	P_{pk}	1,09	0,59	0,70
B1S209	P_p	0,71	1,57	1,83
	P_{pk}	0,31	0,57	0,81
B1S2010	P_p	2,05	5,75	1,21
	P_{pk}	1,02	5,48	0,84
B1S2012	P_p	1,77	0,74	1,01
	P_{pk}	1,47	0,65	0,66
B1S2013	P_p	1,45	0,73	0,98
	P_{pk}	1,26	0,63	0,78
B1S2014	P_p	2,62	0,68	1,66
	P_{pk}	2,30	0,64	1,03
B1S2015	P_p	2,10	0,82	1,08
	P_{pk}	1,62	0,64	0,57
B1S2016	P_p	1,30	0,77	1,01
	P_{pk}	0,88	0,67	0,99
B1S2017	P_p	1,17	0,60	0,90
	P_{pk}	0,68	0,58	0,78

Berikut ini adalah hasil perhitungan untuk nilai P_p dan P_{pk} calcium kode B1S205

$$P_p = \frac{12,13 - 10,27}{6 \times 0,1036} = 1,12$$

$$P_{pk} = \min \left\{ \frac{12,13 - 10,825}{3 \times 0,1036}, \frac{10,825 - 10,27}{3 \times 0,1036} \right\} \\ = 0,90$$

Berdasarkan hasil perhitungan kapabilitas proses secara univariat dengan karakteristik kualitas kandungan air dengan kode resep B1S205 didapatkan nilai P_p sebesar 2,99 dan nilai P_{pk} sebesar 1,79 sehingga dapat disimpulkan bahwa proses memiliki presisi yang baik dan kinerja proses baik. Pada karakteristik kualitas calcium didapatkan nilai P_p sebesar 1,12 sehingga dapat disimpulkan bahwa batas spesifikasi rata-rata dan sempit memiliki nilai P_p kurang lebih dari satu yang berarti proses memiliki presisi yang baik. Kemudian jika dilihat dari nilai P_{pk} sebesar 0,90 nilai ini lebih kecil dari satu yang menunjukkan kinerja proses tidak baik. Begitu juga pada kandungan protein nilai P_p sebesar 1,18 dimana nilai P_p lebih dari satu maka dapat dikatakan bahwa proses memiliki presisi yang baik. Kemudian untuk nilai P_{pk} sebesar 0,86, dimana nilai tersebut tidak lebih dari satu maka menunjukkan kinerja proses tidak baik.

Perhitungan P_p dan P_{pk} dilanjutkan secara multivariat, dimana kapabilitas dihitung bersama-sama untuk kandungan calcium dan protein. Perhitungan secara multivariat dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (2.32) untuk P_p dan persamaan (2.33) untuk P_{pk} dengan hasil sebagai berikut.

- Kode resep B1S205

$$MP_p = (0,33 \times 2,99) + (0,33 \times 1,12) + (0,33 \times 1,18) = 1,7457$$

$$MP_{pk} = (0,33 \times 1,79) + (0,33 \times 0,90) + (0,33 \times 0,86) = 1,1715$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat didapatkan nilai MP_p untuk kode resep B1S205 sebesar 1,7457 dimana nilai ini lebih dari satu yang menandakan bahwa secara multivariat kinerja proses memiliki presisi yang baik, sedangkan jika dilihat dari nilai MP_{pk} sebesar 1,1715 dimana nilai ini juga lebih dari satu. Maka dapat disimpulkan bahwa secara multivariat memiliki tingkat presisi dan akurasi proses baik dan variasi proses berada pada batas yang ditentukan. Berikut ini adalah nilai dari kapabilitas dari masing-masing kode resep.

Tabel 4.6 Kapabilitas Proses Secara Multivariat

Kode Resep	Kapabilitas		Kode Resep	Kapabilitas	
B1S205	MP _p	1,7457	B1S2013	MP _p	1,0428
	MP _{pk}	1,1715		MP _{pk}	0,8811
B1S206	MP _p	1,0857	B1S2014	MP _p	1,6368
	MP _{pk}	0,7821		MP _{pk}	1,3101
B1S207	MP _p	1,1484	B1S2015	MP _p	1,32
	MP _{pk}	0,7854		MP _{pk}	0,9339
B1S209	MP _p	1,3563	B1S2016	MP _p	1,0164
	MP _{pk}	0,5577		MP _{pk}	0,8382
B1S2010	MP _p	2,9733	B1S2017	MP _p	0,8811
	MP _{pk}	2,4222		MP _{pk}	0,6732
B1S2012	MP _p	1,1616			
	MP _{pk}	0,9174			

Maka dapat disimpulkan bahwa secara multivariat kode resep B1S205, B1S2010, dan B1S2014 memiliki tingkat presisi dan akurasi proses yang baik dan variasi proses berada pada batas yang ditentukan karena nilai MP_p dan MP_{pk} lebih dari satu sedangkan untuk kode resep lainnya memiliki nilai MP_p yang lebih dari satu kecuali pada kode resep B1S2017 yang memiliki nilai kurang dari 1 yaitu 0,8811 yang berarti kode resep ini tidak memiliki presisi yang baik. Hampir semua kode resep kecuali B1S205, B1S2010, dan B1S2014 memiliki nilai MP_{pk} yang kurang dari satu yang berarti tidak memiliki akurasi yang baik.

Kode resep yang sering dipakai oleh perusahaan yaitu kode B1S207 ternyata memiliki tingkat presisi yang baik tapi belum memiliki tingkat akurasi yang baik maka dapat disimpulkan bahwa kode resep ini belum kapabel.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada Bab IV dapat disimpulkan bahwa pada diagram kendali IGV dan T^2 Hotelling ada pengamatan yang keluar batas kendali. Diagram kendali IGV terdapat pengamatan yang keluar batas kendali sebanyak 6 pengamatan sedangkan untuk T^2 Hotelling ada sebanyak 4 pengamatan. Kemudian saat dilakukan pemeriksaan asumsi normal multivariat menunjukkan bahwa data tidak memenuhi asumsi sehingga dilakukan pengendalian kualitas dengan menggunakan diagram kendali baru yaitu MEWMA dan MEWMV. Variabilitas dan rata-rata proses produksi pada pakan ternak tipe BR 1 SP *Crumble* belum terkendali secara statistik karena masih adanya pengamatan yang keluar batas kendali. Hal ini dikarenakan bahwa diagram kendali MEWMV dan MEWMA masih ada yang *out of control*. Pembobot optimum untuk diagram MEWMV adalah $\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$, sedangkan MEWMA dengan $\lambda = 0,3$. Selain itu, diagram kendali IGV dan T^2 Hotelling juga realistis jika dilihat dari data perusahaan yang ada di lapangan sehingga dari kedua jenis diagram ini dapat digunakan perusahaan. Hasil perhitungan kapabilitas proses pada masing-masing batas spesifikasi kode resep menunjukkan bahwa secara multivariat hanya kode resep B1S205, B1S2010, dan B1S2014 memiliki tingkat presisi dan akurasi proses yang baik dan variasi proses berada pada batas yang ditentukan karena nilai MPp dan MPpk lebih dari satu.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah dilakukan analisis adalah sebagai berikut.

1. Pengujian kandungan air, calcium, dan protein sebaiknya dilakukan dengan menggunakan sampel yang sama untuk semua pengujian (dilakukan bersama-sama) sehingga

didapatkan hasil sama antara konsep dan juga secara empiris mengenai ada hubungan antara karakteristik kualitas.

2. Penerapan diagram kendali MEWMV dan MEWMA ataupun T^2 Hotelling dan IGV diharapkan dapat digunakan perusahaan sebagai pertimbangan untuk pengendalian kualitas terhadap karakteristik kualitas selain melihat dari batas spesifikasi yang ditentukan perusahaan.
3. Karena penelitian ini masih dilakukan pertama kali di perusahaan untuk dapat melakukan diagram kendali yang sesuai dengan perusahaan yaitu diagram kendali IGV dan T^2 Hotelling maka terlebih dahulu dilakukan penghilangan data yang outlier sehingga asumsi normalitas data dapat terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Fuchs, C., & Kenett, R. S. (1998). *Multivariate Quality Control Theory and Application*. New York: Marcell Dekker.
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Operations Management* (ed.9). (Terj. C. Sungkono) Jakarta : Salemba Empat.
- Huwang, L., Arthur, & Chien-Wei. (2007). Monitoring Multivariate Process Variability for Individual Observations. *Journal of Quality Technology*, 39. pp .258-278.
- Jhonson, W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. USA : Prentice Hall.
- Ketaren, P. (2010). Kebutuhan Gizi Ternak Unggas di Indonesia. *WARTAZOA*, 20. pp. 172-180.
- Kussuma, M. Fendy. (2014). Analisis Kualitas Produk Pakan Ternak Dengan Metode Six Sigma Di PT. Charoen Pokphand Indonesia (Tbk). *Jurnal Online Universitas Negeri Surabaya*.
- Lowry, C.A et al. (1992). A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Technometrics*, 34. pp. 46-53.
- Meliandasari, D. B., Dwiloka, & Suprijatna, E. (2015). Optimasi Daun Kamyambang untuk Penurunan Kolesterol Daging dan Peningkatan Kualitas Asam Lemak Esensial. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*.
- Midi, H., & Shabbak, A. (2011). *Robust Multivariate Control Charts to Detect Small Shifts in Mean*. Malaysia: Hindawi Publishing Corporation.
- Montgomery, D. C. (2009). *Statistical Quality Control* (ed.6). United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Morrison, D. F. (2005). *Multivariate Statistical Methods Fourth Edition*. New York: The Wharton School University of Pennsylvania.

Raissi, S. (2009). Multivariate process capability indices on the presence of priority for quality characteristics. *Journal of Industrial Engineering International*, Vol. 5, No. 9, 27-36.

Rencher, A. R. (2002). *Methods of Multivariate Analysis 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Shabbak, A., & Midi, H. (2012). *An Improvement of the Hotelling T2 Statistic in Monitoring Multivariate Quality Characteristics*. Malaysia: Hindawi Publishing Corporation.

Soelistyono, H. S. (1976). *Ilmu Bahan Makanan Ternak*. Semarang: Diponegoro University.

Suprijatna, E., Atmomarsono, U., & Kartasudjana, R. (2005). *Ilmu dasar Ternak Unggas*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Susanto, A. M., & Haryono. (2016). *Analisis Kapabilitas Kualitas Statistika pada Proses Produksi Pipa Electric Resistance Welded (ERW) di PT. X*. Surabaya: ITS.

Walpole, R. E. 1995. *Introduction to Statistics (3rd Ed.)*. US : Prentice Hall PTR.

Wicaksono, Haris Agung. (2015). *Penerapan Metode Six Sigma dan FMEA Pada PT. Japfa Comfeed Indonesia (Tbk) Unit Margomulyo*. Tugas Akhir Program Studi Teknik Industri Universitas Trunojoyo Madura.

Widodo, Wahyu. (2006). *Pengantar Ilmu Nutrisi Ternak*. Fakultas Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang (UMM)

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Kualitas Pakan Ternak Tipe BR SP 1

Crumble

Data	Moist	Ca	Protein
1	0,41	0,072	0,29
2	0,22	0,022	0,11
3	0,34	0,022	0,5
4	0,56	0,051	0,05
5	0,40	0,009	0,16
6	0,32	0,009	0,45
7	0,37	0,002	0,13
8	0,42	0,002	0,52
9	0,89	0,002	0,17
10	0,31	0,072	0,11
11	0,30	0,082	0,11
12	0,86	0,011	0,05
13	0,43	0,037	0,22
14	0,44	0,010	0,37
15	0,25	0,018	0,15
16	0,34	0,010	0,13
17	0,18	0,047	0,49
18	0,60	0,105	0,39
19	1,44	0,090	0,6
20	0,62	0,078	0,18
21	0,33	0,036	0,39
⋮	⋮	⋮	⋮
138	0,95	0,002	0,02

Lampiran B. Pemeriksaan Asumsi Normal Multivariat

```

> library("mvnormtest", lib.loc=~R/win-library/3.1")
> uji <- read.delim("E:/uji.txt", header=FALSE)
> view(uji)
> c<-t(uji)
> mshapiro.test(c)

      Shapiro-wilk normality test

data:  Z
w = 0.8896, p-value = 1.065e-08

```

Lampiran C. Pengujian Hubungan Variabel**KMO and Bartlett's Test**

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.489
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	4.803
	df	3
	Sig.	.187

Lampiran D. Tabel Nilai L

ω	λ	L	ω	λ	L	ω	λ	L
0.1	0.1	2.7900	0.4	0.1	3.8984	0.7	0.1	4.3777
	0.2	2.7939		0.2	3.9063		0.2	4.3797
	0.3	2.7949		0.3	3.9121		0.3	4.3816
	0.4	2.7988		0.4	3.9219		0.4	4.3836
	0.5	2.7979		0.5	3.9277		0.5	4.3855
	0.6	2.8027		0.6	3.9395		0.6	4.3875
	0.7	2.8066		0.7	3.9492		0.7	4.3836
	0.8	2.8105		0.8	3.9511		0.8	4.3836
	0.9	2.8164		0.9	3.9492		0.9	4.3758
0.2	0.1	3.3105	0.5	0.1	4.1016	0.8	0.1	4.4707
	0.2	3.3086		0.2	4.1016		0.2	4.4668
	0.3	3.3164		0.3	4.1094		0.3	4.4629
	0.4	3.3213		0.4	4.1152		0.4	4.4688
	0.5	3.3340		0.5	4.1191		0.5	4.4688
	0.6	3.3438		0.6	4.1270		0.6	4.4688
	0.7	3.3535		0.7	4.1367		0.7	4.4629
	0.8	3.3594		0.8	4.1387		0.8	4.4590
	0.9	3.3691		0.9	4.1328		0.9	4.4551
0.3	0.1	3.6484	0.6	0.1	4.2578	0.9	0.1	4.5234
	0.2	3.6523		0.2	4.2578		0.2	4.5195
	0.3	3.6602		0.3	4.2617		0.3	4.5117
	0.4	3.6699		0.4	4.2695		0.4	4.5195
	0.5	3.6797		0.5	4.2715		0.5	4.5176
	0.6	3.6895		0.6	4.2715		0.6	4.5137
	0.7	3.6943		0.7	4.2734		0.7	4.5098
	0.8	3.7011		0.8	4.2813		0.8	4.5078
	0.9	3.7070		0.9	4.2715		0.9	4.4984

Lampiran E. Program Diagram Kendali IGV

```

alpha=0.0027;
[m,p]=size(uji)
for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        v(i,j)=uji(i+1,j)-uji(i,j);
    end
end
    
```

```

end
vt=v';
s=0.5*vt*v/(m-1);
sinv=inv(s);
for i=1:m
    for j=1:p
        ujik(i,j)=(1/i)*sum(uji(1:i,j));
    end
end
for i=1:m
    for j=1:p
        xiujik(i,j)=uji(i,j)-ujik(i,j);
    end
end
for i=1:(m-1)
    for j=1:p
        SSk=xiujik(i,:)'*xiujik(i,:);
        SSk1=xiujik(1+1,:)'*xiujik(1+1,:);
        D=SSk1-SSk;
        F(i)=sqrt(trace(D^2));
    end
end
F=F';
c=(trace(s^2))/(trace(s));
r=((trace(s))^2)/(trace(s^2));
ucl=c*(chi2inv(1-alpha,floor(r)));
lcl=0;
bka(1:m-1)=ucl;
bkb=zeros(m-1);
x=1:m-1;
y=F;
plot(x,y,'b*- ',x,bka,'k-',x,bkb,'k-')
title('Diagram Kontrol Improved')
xlabel('Pengamatan ke-')
ylabel('F')

```

```

text(m,ucl,'BKA=6300.26')
text(m,lcl,'BKA=0')
for i=1:m-1
    if(F(i)>ucl)||(F(i)<lcl)
        o(i)=1;else o(i,1)=0;
    end;
end;
out=sum(o);
for i=1:m-1
    if(F(i,1)>ucl)||F(i,1)<lcl)
        obs (i)=i;else obs(i)=0;
    end;
end;
obs_out=obs

```

Lampiran F. Program Diagram T2 Hotelling

```

alpha=0.0027;
[m,p]=size(uji);
n=m-1;
for i=1:1:n
    for j=1:1:p
        k=i+1;
        v(i,j)=uji(k,j)-uji(i,j);
    end
end
vt=v';
s=(1/(2*(m-1)))*vt*v;
inv_s=inv(s);
rata=mean(uji);
for j=1:1:p
    for i=1:1:m
        tsquare1(i,j)=uji(i,j)-rata(1,j);
    end
end
tsquare2=tsquare1';

```

```

for i=1:1:m
    for j=1:1:p
        T(i,1)=tsquare1(i,:)*inv_s*tsquare2(:,1);
        a=p/2;
        b=(m-p-1)/2;
        ucl=((m-1)^2/m)*betainv((1-alpha),a,b);
        lcl=0;
    end
end

for i=1:1:m
    bka(i,1)=ucl;
    for i=1:1:m;
        bkb(i,1)=lcl;
    x=1:m;
    y=T;
    end
end
plot(x,y,'b*-',x,bka,'k-',x,bkb,'k-');
xlabel('Pengamatan ke-')
ylabel('T Square')
text(k,ucl,'BKA=13.5879')
text(k,lcl,'BKB=0')
for i=1:1:m
    if(T(i,1)>ucl)||(T(i,1)<lcl)
        o(i,1)=1;else o(i,1)=0;

end;
end;
out=sum(o);
for i=1:1:m
    if(T(i,1)>ucl)||(T(i,1)<lcl)
        obs(i,1)=1;else obs(i,1)=0;
end;
end;

```

```
obs_out=obs;
```

Lampiran G. Program Diagram MEWMV

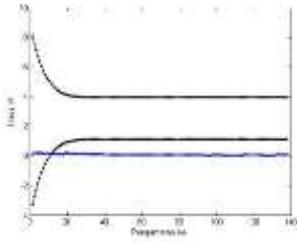
```
X=importdata('D:\A.txt');
omega=0.1;
lamda=0.1;
p=3;
L=2.223;
[brsX,klmX]=size(X);
t=brsX;
I=eye(t);
for i=1:t;
    elemen(i)=lamda*(1-lamda)^(i-1);
end
for i=1:t;
    for j=1:t;
        if i<j;
            M(i,j)=0;
        else
            for l=i:t;
                M(l,j)=elemen(l-j+1);
            end
        end
    end
end
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*(i-omega)^(u-i);
        else
            elemenC(i)=(1-omega)^(u-i);
        end
    end
end
C=diag(elemenC);
```

```

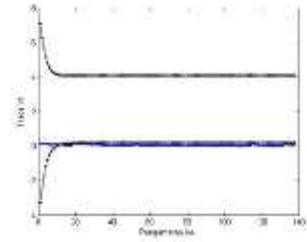
Q=(Ipartu-Mpartu)'*C*(Ipartu-Mpartu);
trv(u)=trace(Q*Apartu);
ekspektasi(u)=p*trace(Q);
Q2=Q.^2;
sumQ2=sum(sum(Q2));
var(u)=2*p*sumQ2;
ba=ekspektasi+(L*sqrt(var));
bb=ekspektasi-(L*sqrt(var));
end
trvpartial=trv(:,1:t)
ekspekparial=ekspektasi(:,1:t);
varpartial=var(:,1:t);
bapartial=ba(:,1:t);
bbpartial=bb(:,1:t);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

```

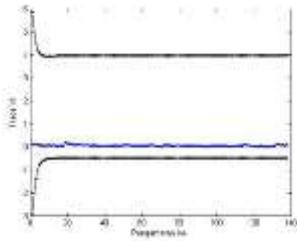
Lampiran H. Output Diagram MEWMV Untuk Masing-masing Pembobot



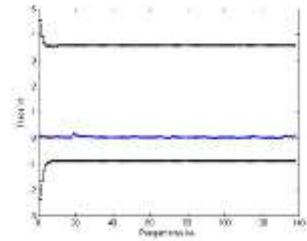
$\omega = 0,1$ dan $\lambda = 0,1$



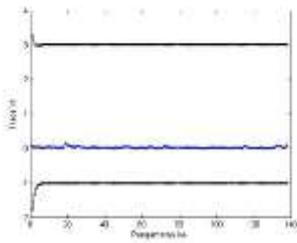
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,2$



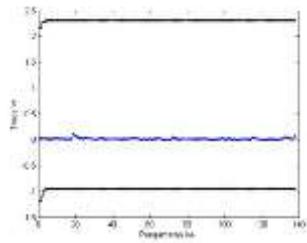
$\omega = 0,3$ dan $\lambda = 0,3$



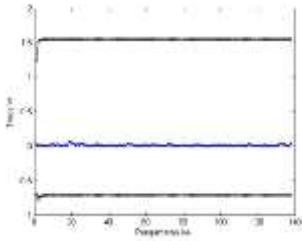
$\omega = 0,4$ dan $\lambda = 0,4$



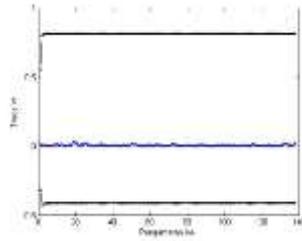
$\omega = 0,5$ dan $\lambda = 0,5$



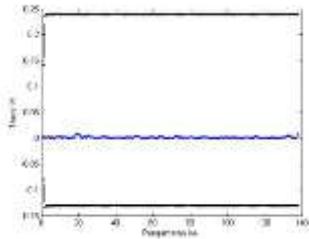
$\omega = 0,6$ dan $\lambda = 0,6$



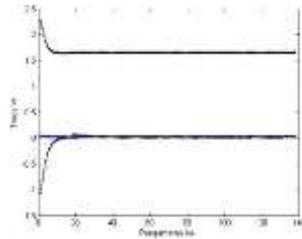
$\omega = 0,7$ dan $\lambda = 0,7$



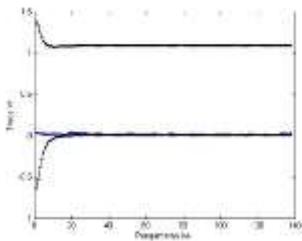
$\omega = 0,8$ dan $\lambda = 0,8$



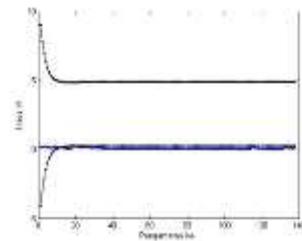
$\omega = 0,9$ dan $\lambda = 0,9$



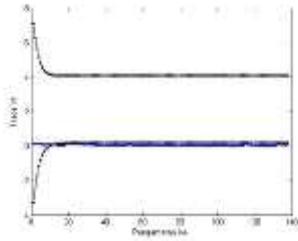
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,55$



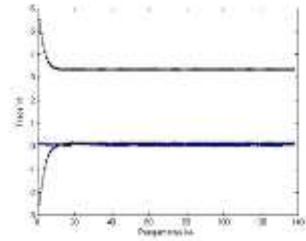
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,65$



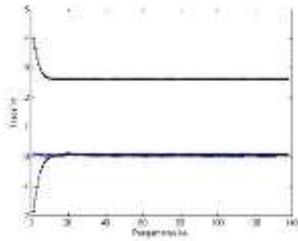
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,1$



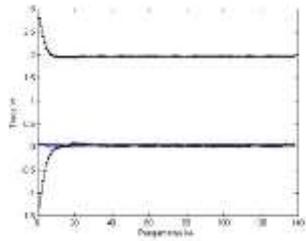
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,2$



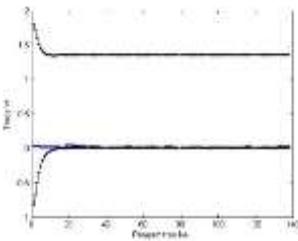
$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,3$



$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,4$

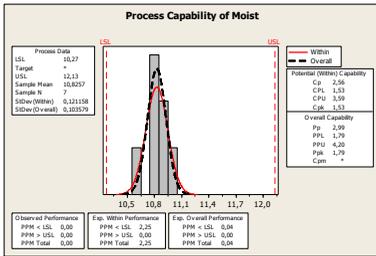


$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,5$

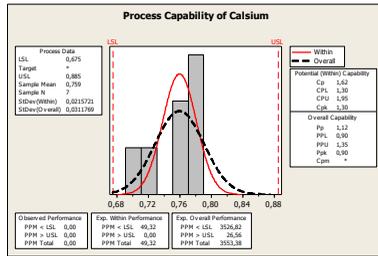


$\omega = 0,2$ dan $\lambda = 0,6$

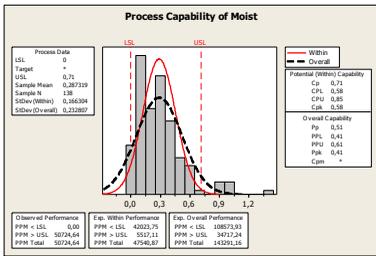
Lampiran I. Output Kapabilitas



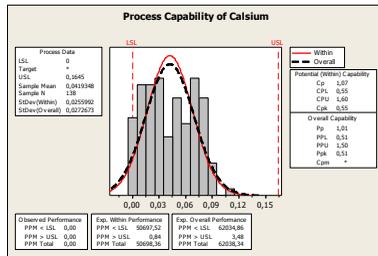
Kode resep B1S205 Moist



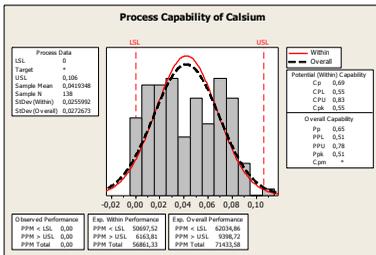
Kode resep B1S205 Calcium



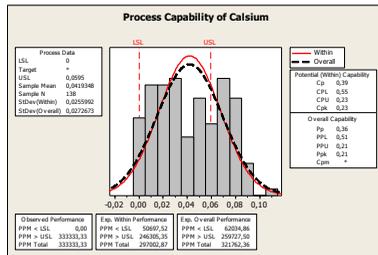
Kode resep B1S205 Protein



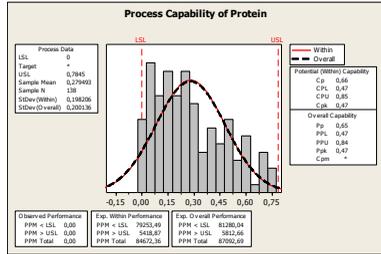
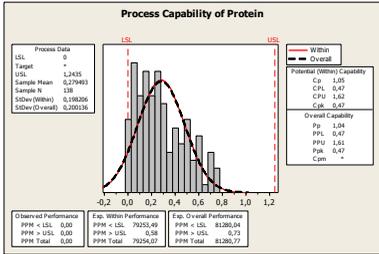
Kode resep B1S206 Moist



Kode resep B1S206 Ca

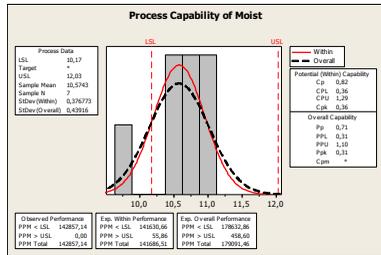
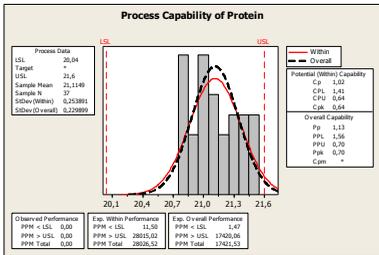


Kode resep B1S206 Protein



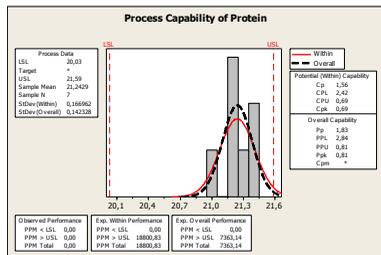
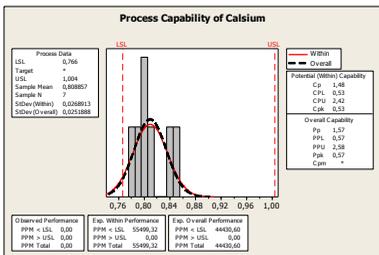
Kode resep B1S207 Moist

Kode resep B1S207 Calcium



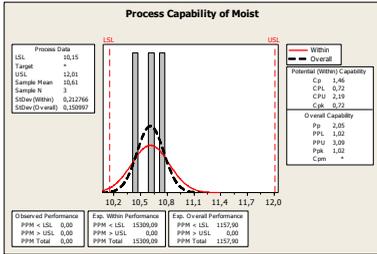
Kode resep B1S207 Protein

Kode resep B1S209 Moist

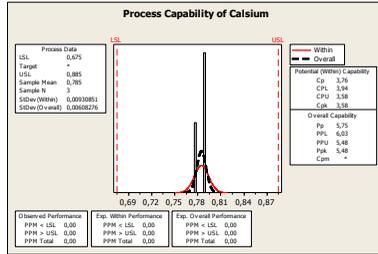


Kode resep B1S209 Ca

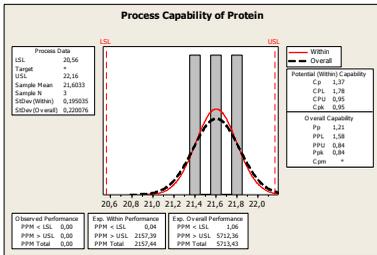
Kode resep B1S209 Protein



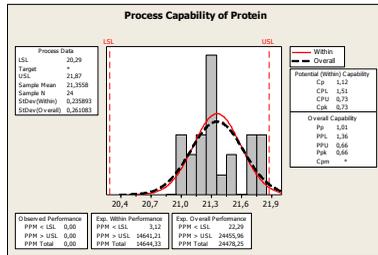
Kode resep B1S2010 Moist



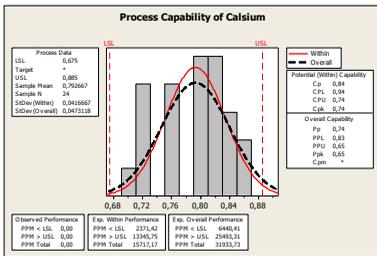
Kode resep B1S2010 Ca



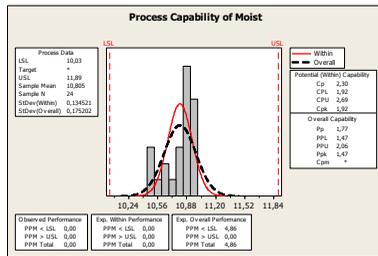
Kode resep B1S2010 Protein



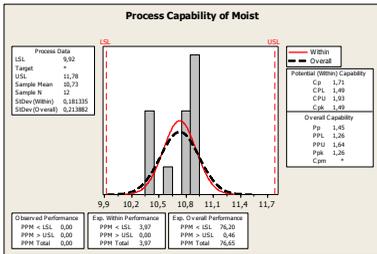
Kode resep B1S2012 Moist



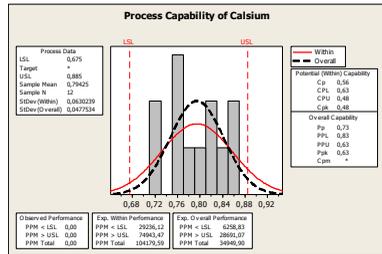
Kode resep B1S2012 Ca



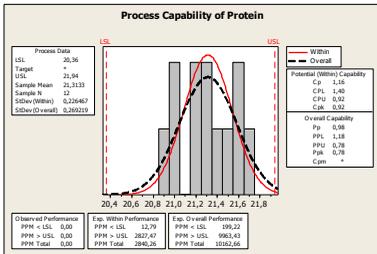
Kode resep B1S2012 Protein



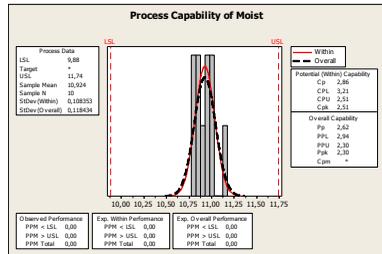
Kode resep B1S2013 Moist



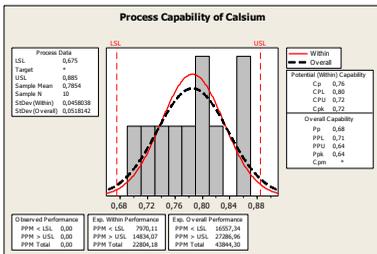
Kode resep B1S2013 Ca



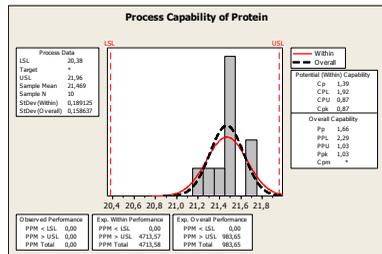
Kode resep B1S2013 Protein



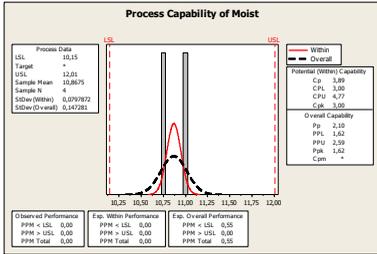
Kode resep B1S2014 Moist



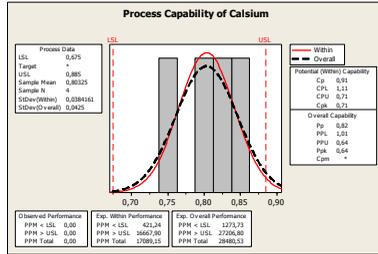
Kode resep B1S2014 Ca



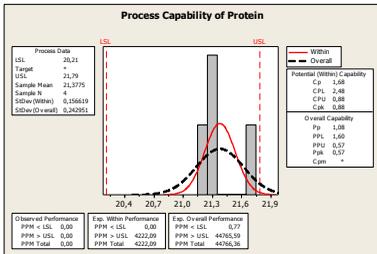
Kode resep B1S2014 Protein



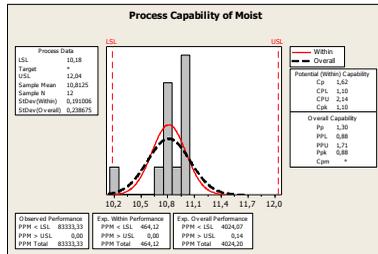
Kode resep B1S2015 Moist



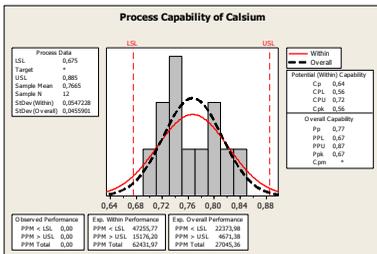
Kode resep B1S2015 Ca



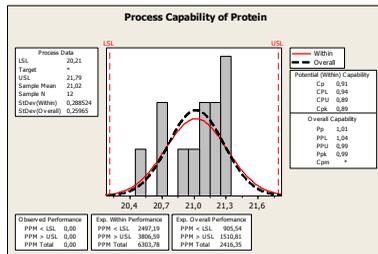
Kode resep B1S2015 Protein



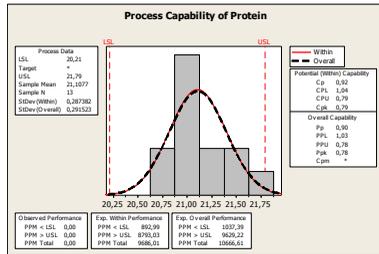
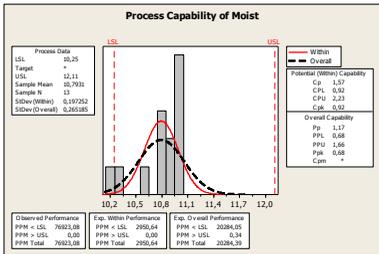
Kode resep B1S2016 Moist



Kode resep B1S2016 Ca

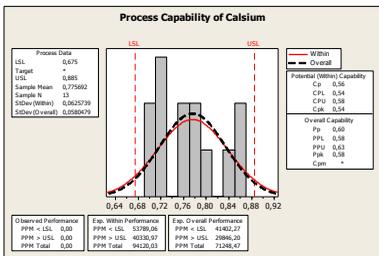


Kode resep B1S2016 Protein



Kode resep B1S2017Moist

Kode resep B1S2017 Ca



Kode resep B1S2017 Protein

Lampiran J. Surat Keterangan Permintaan Data di PT. Japfa Comfeed Indonesia Tbk Cabang Sidoarjo



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

