

**KINERJA PETA KENDALI *TRIPLE EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE* UNTUK
MENGONTROL RATA-RATA PROSES**

SKRIPSI



MUH. NURUL HIDAYAT

H051181332

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
DESEMBER 2022**

**KINERJA PETA KENDALI *TRIPLE EXPONENTIALLY*
WEIGHTED MOVING AVERAGE UNTUK MENGONTROL
RATA-RATA PROSES**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada
Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

**MUH. NURUL HIDAYAT
H051181332**

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
DESEMER 2022**

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Kinerja Peta Kendali *Triple Exponentially Weighted Moving Average* untuk Mengontrol Rata-rata Proses

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun

Makassar, 09 Desember 2022



Muh. Nurul Hidayat

NIM H051181332

**KINERJA PETA KENDALI *TRIPLE EXPONENTIALLY*
WEIGHTED MOVING AVERAGE UNTUK MENGONTROL
RATA-RATA PROSES**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama



Anisa, S.Si., M.Si.

NIP. 19730227 199802 2 001

Pembimbing Pertama



Siswanto, S.Si., M.Si.

NIP. 19920107 201903 1 012

Ketua Program Studi



Dr. Nurhidayah Sunusi, S.Si., M.Si.

NIP. 19720117 199703 2 002

Pada 09 Desember 2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Muh. Nurul Hidayat
NIM : H051181332
Program Studi : Statistika
Judul Skripsi : Kinerja Peta Kendali *Triple Exponentially Weighted Moving Average* untuk Mengontrol Rata-rata Proses

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

1. Ketua : Anisa, S.Si., M.Si. (.....)
2. Sekretaris : Siswanto, S.Si, M.Si. (.....)
3. Anggota : Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si. (.....)
4. Anggota : Dra. Nasrah Sirajang, M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 09 Desember 2022

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji hanya milik Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sampai saat ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa sallam. Alhamdulillahil'alaamiin*, berkat rahmat dan kemudahan yang diberikan oleh Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis tidak akan sampai pada titik ini tanpa dukungan dan bantuan dari pihak yang selalu ada, peduli dan menyayangi penulis. Oleh karena itu, penulis haturkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada keluarga terutama orang tua penulis, Ayahanda **Hauduka** dan Ibunda **ST. Haderiyani** yang telah memberikan dukungan penuh, pengorbanan, kesabaran hati, cinta dan kasih sayang, serta dengan ikhlas telah mengiringi setiap langkah penulis dengan doa dan restunya.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga penulis ucapkan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Statistika, segenap Dosen Pengajar dan Staf yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
4. **Ibu Anisa, S.Si., M.Si.**, selaku Pembimbing Utama dan **Bapak Siswanto S.Si., M.Si.**, selaku Pembimbing Pendamping yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu dan pemikirannya di tengah berbagai kesibukan dan prioritasnya untuk senantiasa memberikan arahan, dorongan, dan motivasi kepada penulis mulai dari awal hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.

5. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si., dan Ibu Dra. Nasrah Sirajang, M.Si.,** selaku Tim Penguji yang telah memberikan kritikan yang membangun dalam penyempurnaan penyusunan tugas akhir ini serta waktu yang telah diberikan kepada penulis.
6. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.,** selaku Penasehat Akademik penulis. Terima kasih atas segala bantuan, nasehat serta motivasi yang selalu diberikan kepada Penulis selama menjalani pendidikan di Departemen Statistika Universitas Hasanuddin.
7. Orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan doa selama penulis menempuh perkuliahan di Departemen Statistika Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman **Statistika 2018**, terima kasih untuk segala kebersamaan yang tak terlupakan selama 4 tahun, kerja sama, suka dan duka serta dukungan yang telah diberikan kepada penulis setiap kali penulis menghadapi hambatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Teman-teman **LT5** yaitu **Haksar, Nehemia, Nur Azhari, Taufiq Akbar, Edward Timothy, Kevin Ekarinaldo, Syahrul Mubarak, Musafir, Ikhsan Heriansyah, Muhammad Rezky** dan **Hafis Dwi Fernando** yang selalu membersamai sejak awal perkuliahan, dan banyak membantu segala urusan perkuliahan, serta senantiasa terbuka sebagai tempat bertukar pikiran.
10. **Fani Fahira** beserta segenap **Karyawan UD. Masagena Frozen Food** yang telah memberikan izin bagi penulis untuk menggunakan data produksi mereka sebagai data penelitian pada tugas akhir ini.
11. Diri sendiri, yang telah berjuang dan selalu kembali bangkit setelah menghadapi banyak kesulitan dan tantangan hidup, terima kasih karena terus berjuang.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, semoga segala dukungan dan partisipasi yang diberikan kepada penulis bernilai ibadah disisi Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf. Akhir kata, semoga tulisan ini memberikan manfaat untuk pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 09 Desember 2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Duyul' or similar, written in a cursive style.

Muh. Nurul Hidayat

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Nurul Hidayat
NIM : H051181332
Program Studi : Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas tugas akhir saya yang berjudul:

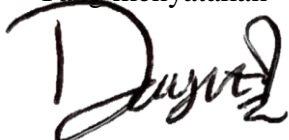
“Kinerja Peta Kendali *Triple Exponentially Weighted Moving Average* untuk Mengontrol Rata-rata Proses”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal, 09 Desember 2022

Yang menyatakan



(Muh. Nurul Hidayat)

ABSTRAK

Upaya untuk mengontrol kualitas hasil produksi menjadi prioritas utama bagi para produsen untuk menjaga standar mutu produk dan meminimalisir terjadinya kecacatan pada produk. Teknik statistik yang dapat digunakan untuk mengendalikan kualitas produksi ialah peta kendali. Adapun peta kendali yang populer digunakan adalah peta kendali Shewhart. Namun, peta kendali Shewhart memiliki kelemahan dalam mendeteksi adanya pergeseran kecil. Maka, dikembangkanlah peta kendali EWMA dan DEWMA untuk mampu mendeteksi pergeseran kecil. Upaya untuk semakin meningkatkan sensitifitas peta kendali dilakukan dengan mengembangkan peta kendali TEWMA melalui proses peningkatan *exponential smoothing*. Peta kendali TEWMA merupakan pengembangan dari peta kendali EWMA dan DEWMA yang diharapkan untuk mampu mendeteksi pergeseran kecil lebih cepat dibandingkan peta kendali EWMA dan DEWMA. Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan peta kendali TEWMA dalam mengontrol rata-rata proses pada data penelitian dan membandingkan kinerja peta kendali TEWMA terhadap peta kendali EWMA dan DEWMA berdasarkan dua aspek yaitu jumlah *out of control* dan nilai *Average Run Length* (ARL) yang dihasilkan. Data penelitian yang digunakan adalah data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food untuk data mingguan selama periode Juni 2021 hingga Mei 2022. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peta kendali TEWMA mampu menangkap sinyal *out of control* yang lebih banyak dan menghasilkan nilai ARL yang lebih rendah dibandingkan peta kendali EWMA maupun DEWMA untuk $L = 3$ dan λ bernilai 0.01 sampai 0.99, sehingga menunjukkan bahwa kinerja peta kendali TEWMA lebih baik dalam mendeteksi pergeseran kecil dibandingkan peta kendali EWMA dan DEWMA.

Kata Kunci: *Average run length*, cacat produksi, *exponential smoothing*, *out of control*, pergeseran kecil.

ABSTRACT

Efforts to control the quality of production results are main priority for producers to maintain product quality standards and minimize product defects. A statistical technique that can be used to control production quality is a control chart. The control chart that is popularly used is the Shewhart control chart. However, the Shewhart control chart has a weakness in detecting small shifts. So, the EWMA and DEWMA control charts were developed to be able to detect small shifts. Efforts to further increase the sensitivity of the control chart are carried out by developing the TEWMA control chart through an exponential smoothing improvement process. The TEWMA control chart is a development of the EWMA and DEWMA control charts which are expected to be able to detect small shifts faster than the EWMA and DEWMA control charts. The purpose of this research are to apply the TEWMA control chart to control process averages in the research data and compare the performance of the TEWMA control chart to the EWMA and DEWMA control charts based on two aspects, amount of out of control and the Average Run Length (ARL) value. The research data used is data on the number of defects in the production of nuggets at UD. Masagena Frozen Food for weekly data from June 2021 to May 2022. The results of this study indicate that the TEWMA control chart is able to capture more out of control signals and produce lower ARL values than the EWMA and DEWMA control charts for $L = 3$ and λ value of 0.01 to 0.99, thus indicating that the performance of the TEWMA control chart is better in detecting small shifts than the EWMA and DEWMA control charts.

Keywords: *Average run length, production defects, exponential smoothing, out of control, small shifts.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bagan Kendali Shewhart	5
2.2 <i>Exponentially Weighted Moving Average</i>	6
2.3 <i>Double Exponentially Weighted Moving Average</i>	10
2.4 <i>Triple Exponentially Weighted Moving Average</i>	13
2.5 Uji Normalitas	15
2.6 <i>Average Run Length</i>	16
2.7 UD. Masagena Frozen Food	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Sumber Data	19
3.2 Variabel Penelitian	19
3.3 Tahapan Analisis Data.....	19
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Peta Kendali TEWMA	22
4.1.1 Penentuan Rata-rata Peta Kendali TEWMA	24
4.1.2 Penentuan Variansi Peta Kendali TEWMA	26
4.1.3 Penentuan Batas Kendali TEWMA	29
4.2 Studi Kasus Data Jumlah Cacat Produksi UD. Masagena Frozen Food	29
4.2.1 Uji Normalitas	29
4.2.2 Peta Kendali EWMA	31
4.2.3 Peta Kendali DEWMA	34
4.2.4 Peta Kendali TEWMA	36
4.2.5 Perbandingan <i>Out of Control</i>	41
4.2.6 Perhitungan ARL	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Plot Normalitas Data Jumlah Kecacatan	30
Gambar 4.2	Grafik Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0.6$	33
Gambar 4.3	Grafik Peta Kendali DEWMA untuk $\lambda = 0.6$	36
Gambar 4.4	Grafik Peta Kendali TEWMA untuk $\lambda = 0.6$	40
Gambar 4.5	Perbandingan <i>Out of Control</i> Peta Kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA	41
Gambar 4.6	Perbandingan ARL untuk $k = 0.05$	47
Gambar 4.7	Perbandingan ARL untuk $k = 0.1$	48
Gambar 4.8	Perbandingan ARL untuk $k = 0.25$	48
Gambar 4.9	Perbandingan ARL untuk $k = 0.5$	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Penurunan Rumus Identitas Rata-rata Peta Kendali TEWMA	56
Lampiran 2	Data Cacat Produksi <i>Nugget</i> UD. Masagena Frozen Food	60
Lampiran 3	Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Cacat Produksi <i>Nugget</i> UD. Masagena Frozen Food	62
Lampiran 4	Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov	63
Lampiran 5	Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0.6$	64
Lampiran 6	Peta Kendali DEWMA untuk $\lambda = 0.6$	66
Lampiran 7	Peta Kendali TEWMA untuk $\lambda = 0.6$	68
Lampiran 8	Jumlah <i>Out of Control</i> Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA	70
Lampiran 9	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.05$ dan 0.1	72
Lampiran 10	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.25$ dan 0.5	75
Lampiran 11	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.75$ dan 1	78
Lampiran 12	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.25$ dan 1.5	82
Lampiran 13	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.75$ dan 2	86
Lampiran 14	Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 3$	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin ketat dan meluasnya persaingan pasar, maka setiap para pelaku industri akan terus berusaha bersaing menarik perhatian para konsumen untuk menggunakan produk ataupun layanan yang mereka tawarkan. Kualitas suatu produk menjadi faktor penentu bagi konsumen untuk mempertimbangkan produk atau layanan yang mereka inginkan sehingga perusahaan harus memastikan produk yang mereka hasilkan memiliki mutu yang baik dan berkualitas tinggi agar dapat mempertahankan para konsumennya sekaligus menarik perhatian atau menambah para calon konsumen baru sehingga dapat semakin memperluas pangsa pasar mereka dan meningkatkan *value* produk mereka di mata masyarakat luas.

Produk yang berkualitas dihasilkan melalui proses produksi yang stabil dan terkendali serta memiliki spesifikasi yang baik dan sesuai dengan keinginan dan kebutuhan konsumen. Oleh karena itu, perusahaan perlu menerapkan pengendalian kualitas terhadap produk yang mereka produksi untuk menjaga standar mutu produk dan meminimalisir terjadinya kecacatan pada produk (Widjajati dkk., 2017).

Produk yang dihasilkan akan ditentukan kualitasnya berdasarkan pengukuran atau penilaian karakteristik standar tertentu yang dapat menyebabkan timbulnya penyimpangan atau variasi kualitas. Variasi yang besar dari suatu produk menunjukkan bahwa mutu produk tersebut rendah. Produk cacat sendiri disebabkan oleh variasi parameter kualitas produk itu sendiri. Adapun pengendalian kualitas statistik berupaya untuk mendeteksi dan menekan penyimpangan atau variasi hasil produk tersebut (Febrina dan Fitriana, 2022).

Pengendalian kualitas statistik merupakan metode penyelesaian masalah yang diterapkan untuk memantau, mengontrol, menganalisa, mengelola dan memperbaiki proses produksi menggunakan teknik-teknik statistik (Montgomery, 2009). Teknik statistik yang dapat digunakan untuk pengendalian kualitas adalah peta kendali (*control chart*). Peta kendali merupakan teknik yang diterapkan untuk

memantau dan mendeteksi perubahan dalam suatu proses serta mengendalikan kualitas hasil produksi telah terkontrol secara statistik atau tidak (Gupta, 2021).

Peta kendali yang populer digunakan adalah peta kendali Shewhart. Namun, kelemahan utama dari peta kendali shewhart ialah hanya menangkap informasi dari observasi sampel terbaru dan mengabaikan sampel-sampel terdahulu sehingga kurang efektif dalam mendeteksi pergeseran yang lebih kecil (Muhammadipour dkk., 2021). Peta kendali Shewhart untuk memantau kualitas produk seringkali tidak dapat menampilkan kondisi proses yang sebenarnya, sehingga dikembangkan peta kendali alternatif seperti *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) yang dapat menjadi pilihan untuk data dengan pergeseran kecil (Febrina dan Fitriana, 2022).

EWMA merupakan model pendekatan statistik yang pertama kali diperkenalkan oleh Roberts (1959). Model pendekatan EWMA digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya pergeseran dalam rata-rata proses. Selanjutnya Shamma (1992) mengembangkan model pendekatan EWMA menjadi model pendekatan *Double Exponentially Weighted Moving Average* (DEWMA) dengan tujuan mendapatkan suatu model yang memiliki nilai sensitivitas lebih tinggi dalam mendeteksi pergeseran nilai rata-rata proses dibandingkan dengan model pendekatan EWMA. Kemudian Alevizakos dkk (2020) mengembangkan model pendekatan EWMA dan DEWMA menjadi model pendekatan *Triple Exponentially Weighted Moving Average* (TEWMA) dengan meningkatkan proses *exponential smoothing* sehingga mampu mendeteksi pergeseran rata-rata yang lebih cepat dibandingkan EWMA maupun DEWMA.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan model pendekatan EWMA telah dilakukan oleh Hakam (2017) pada produksi pipa besi PT. Pacific Angkasa Abadi yang menunjukkan peta kendali EWMA mampu mendeteksi out of control yang lebih banyak dibandingkan peta kendali CUSUM (*Cumulative Sum*) sehingga EWMA lebih sensitif dibandingkan CUSUM. Penelitian Adji dkk (2019) menyatakan bahwa hasil perhitungan dan perbandingan yang ditunjukkan model pendekatan DEWMA lebih cepat mendeteksi pergeseran data produksi Wheeldops PT. Morodadi Prima dengan data tidak normal dari pada model pendekatan EWMA. Penelitian Alevizakos dkk (2020) menunjukkan bahwa

performa peta kendali TEWMA jauh lebih baik dibandingkan EWMA dan DEWMA berdasarkan perbandingan ARL.

Berdasarkan uraian di atas, peneliti akan membandingkan kinerja peta kendali TEWMA dengan EWMA dan DEWMA dalam memonitoring pergeseran rata-rata pada cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan dan menggunakan peta kendali TEWMA pada data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food untuk mendeteksi produksi yang tidak terkendali secara statistik?
2. Bagaimana perbandingan kinerja dari peta kendali TEWMA dibandingkan dengan peta kendali EWMA dan DEWMA berdasarkan jumlah *out of control* dan ARL dalam memonitoring pergeseran proses produksi data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan peta kendali TEWMA pada data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food untuk mendeteksi produksi yang tidak terkendali secara statistik.
2. Memperoleh perbandingan kinerja dari peta kendali TEWMA dibandingkan dengan peta kendali EWMA dan DEWMA berdasarkan jumlah *out of control* dan ARL dalam memonitoring pergeseran proses produksi data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food untuk data mingguan selama periode Juni 2021 sampai Mei 2022.
2. Menggunakan $L = 3$ sebagai lebar batas kontrol serta parameter λ antara 0.01 hingga 0.99 sebagai parameter pembobotan peta kendali.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan manfaat dalam bidang statistika dan matematika dalam memperoleh pengetahuan mengenai perbandingan metode pengendalian kualitas, yaitu peta kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA.
2. Memberikan masukan dan saran kepada pihak industri dalam menentukan rancangan pengendalian kualitas dalam upaya meningkatkan kualitas produk

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bagan Kendali Shewhart

Bagan kendali merupakan salah satu alat penting dalam *Statistical Process Control* yang digunakan sebagai alat bantu untuk mengendalikan kualitas. Bagan kendali secara grafis memberikan gambaran tentang perilaku sebuah proses sekaligus berfungsi untuk memonitor dan mengevaluasi apakah aktivitas atau proses tersebut dalam kondisi yang terkontrol secara statistik atau tidak. Bagan kendali Shewhart merupakan metode bagan kendali yang paling umum digunakan dalam pengontrolan kualitas secara statistik sejak pertama kali diperkenalkan oleh W.A Shewhart dari Bell Telephone Laboratories, Amerika Serikat, pada tahun 1924 (Khamid dkk., 2018).

Saghir dkk (2020) menyatakan bahwa berdasarkan karakteristik data yang digunakan, bagan kendali shewhart dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Bagan kendali variabel, yaitu bagan kendali yang memonitor karakteristik numerik atau karakteristik kualitas hasil produk yang dapat diukur seperti tinggi, berat, suhu, volume, dan lain-lain.
2. Bagan kendali atribut, bagan kendali yang memonitor karakteristik non-numerik atau karakteristik kualitas yang diklasifikasikan berdasarkan sifat produk seperti produk cacat dan tidak cacat (*good/defective items*), memuaskan atau tidak memuaskan (*satisfied/not-satisfied*), maupun penentuan ukuran kecil, sedang, atau besar (*small/medium/large*).

Terdapat tiga komponen penting pada bagan kendali, yaitu:

1. Batas Kendali Atas (BKA) atau *Upper Control Limit* (UCL), yaitu merupakan garis batas atas untuk suatu penyimpangan yang masih dapat ditoleransi dalam proses produksi.
2. Garis Tengah (GT) atau *Central Line* (CL), yaitu merupakan garis yang menyatakan nilai rata-rata dari karakteristik kualitas hasil produksi yang

akan menjadi dasar pokok perhitungan terjadinya variasi hasil-hasil pengamatan setiap sampelnya.

3. Batas Kendali Bawah (BKB) atau *Lower Control Limit* (LCL), yaitu merupakan garis batas bawah untuk suatu penyimpangan yang masih dapat ditoleransi dalam proses produksi.

Bagan kendali Shewhart ini sendiri berfungsi dengan baik untuk memantau dan mendeteksi pergeseran rata-rata yang besar, tetapi kinerjanya mulai menurun ketika perubahannya semakin kecil (Karoon dkk., 2021).

2.2 *Exponentially Weighted Moving Average*

Model pendekatan EWMA diperkenalkan pertama kali oleh seorang peneliti bernama Roberts pada tahun 1959. Model pendekatan ini dapat digunakan untuk mengontrol data atribut ataupun data variabel dengan menggunakan keseluruhan data-data historis (Blevins dkk., 2019). Selain itu model pendekatan EWMA juga digunakan untuk mendeteksi adanya pergeseran dalam rata-rata suatu proses. Hal ini terjadi karena model pendekatan EWMA menggunakan semua informasi dari semua sampel (Hamsah dkk., 2019).

Menurut Montgomery (2009) pemberian parameter pembobot (λ) bernilai $0 < \lambda \leq 1$ untuk memberikan bobot pada data awal sehingga model pendekatan bisa lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran data. Secara matematis model pendekatan EWMA didefinisikan seperti pada Persamaan (2.1).

$$Z_j = \lambda X_j + (1 - \lambda)Z_{j-1} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Z_j : Nilai EWMA rata-rata waktu ke j .

λ : Parameter pembobotan EWMA dengan nilai $0 < \lambda \leq 1$.

X_j : nilai pengamatan pada waktu ke- j

j : waktu atau subgrup dari pengamatan dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$

dengan $X_j (j = 1, 2, \dots, n)$ merupakan peubah acak dari distribusi normal yang saling independen.

Z_0 merupakan nilai awal yang terkadang dapat diperoleh dari nilai rata-rata hasil pengamatan seperti pada Persamaan (2.2).

$$Z_0 = \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (2.2)$$

Berdasarkan Persamaan (2.1) maka akan diperoleh persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Z_1 &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_{1-1} \\ &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= \lambda X_2 + (1 - \lambda)Z_{2-1} \\ &= \lambda X_2 + (1 - \lambda)Z_1 \\ &= \lambda X_2 + (1 - \lambda)[\lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_0] \\ &= \lambda X_2 + \lambda(1 - \lambda)X_1 + (1 - \lambda)^2 Z_0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} Z_3 &= \lambda X_3 + (1 - \lambda)Z_{3-1} \\ &= \lambda X_3 + (1 - \lambda)Z_2 \\ &= \lambda X_3 + (1 - \lambda)[\lambda X_2 + \lambda(1 - \lambda)X_1 + (1 - \lambda)^2 Z_0] \\ &= \lambda X_3 + \lambda(1 - \lambda)X_2 + \lambda(1 - \lambda)^2 X_1 + (1 - \lambda)^3 Z_0 \end{aligned} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) dapat direkursi untuk Z_{j-m} , dengan $m = 4, 5, 6, \dots, j$ sehingga diperoleh Persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} Z_j &= \lambda X_j + \lambda(1 - \lambda)X_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 X_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad X_{j-(j-2)} + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} X_{j-(j-1)} + (1 - \lambda)^j Z_{j-j} \\ &= \lambda X_j + \lambda(1 - \lambda)X_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 X_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad X_2 + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} X_1 + (1 - \lambda)^j Z_0 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) secara sederhana dapat dinyatakan seperti dalam Persamaan (2.7) berikut.

$$Z_j = \lambda \sum_{m=0}^{j-1} (1 - \lambda)^m X_{j-m} + (1 - \lambda)^j Z_0 \quad (2.7)$$

atau juga dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.8) berikut

$$Z_j = \lambda \sum_{m=1}^j (1 - \lambda)^{j-m} X_m + (1 - \lambda)^j Z_0 \quad (2.8)$$

Terlihat adanya pergerakan *average* yang tidak hanya terjadi untuk X_1 , namun untuk data terbaru X_2, X_3, \dots, X_n . Pergerakan *average* untuk tiap Z_j disebut sebagai Persamaan *moving average* atau rata-rata bergerak.

Selain itu, pada Persamaan (2.6) dapat diperhatikan bahwa bobot menurun secara eksponensial dari rata-rata subgrup terdahulu hingga rata-rata subgrup terbaru, yaitu $\lambda(1-\lambda)^0, \lambda(1-\lambda)^1, \lambda(1-\lambda)^2, \dots, \lambda(1-\lambda)^{j-2}, \lambda(1-\lambda)^{j-1}$. Pada Z_j terdapat adanya pergerakan *average* serta bobot yang mengalami penurunan secara eksponensial, sehingga Z_j disebut dengan EWMA (*Exponentially Weighted Moving Average*).

Z_j juga memiliki nilai pemusatan dan penyebaran. Nilai pemusatan dari EWMA merupakan nilai rata-rata sedangkan nilai penyebaran merupakan nilai variansi. Nilai rata-rata dari peta kendali EWMA adalah hasil dari ekspektasi Z_j dengan nilai rata-rata yang diinginkan adalah nilai Z_0 yang dinyatakan dengan Persamaan (2.9)

$$E[Z_j] = \mu_0 = Z_0 \quad (2.9)$$

Adapun nilai variansi dari Z_j diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sigma_{Z_j}^2 &= var(Z_j) \\ &= \frac{\lambda\sigma_{X_j}^2(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Sehingga diperoleh $Z_j \approx N\left(Z_0, \frac{\lambda\sigma_{X_j}^2(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}\right)$, yang berarti rata-rata

$(\mu) = Z_0$ dan variansi $(\sigma_{Z_j}^2) = \frac{\lambda\sigma_{X_j}^2(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}$. Kemudian didefinisikan BKA dan BKB untuk diagram kontrol EWMA yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.11) dan (2.12).

$$\begin{aligned} BKA &= Z_0 + L\sigma_{Z_j} \\ &= Z_0 + L\sqrt{\frac{\lambda\sigma_{X_j}^2(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}} \\ &= Z_0 + L\sigma_{X_j}\sqrt{\frac{\lambda(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}} \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} BKB &= Z_0 - L\sigma_{Z_j} \\ &= Z_0 - L\sqrt{\frac{\lambda\sigma_{X_j}^2(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$= Z_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}}$$

Nilai j yang makin meningkat mengakibatkan nilai $(1 - \lambda)^{2j}$ mendekati nol, sehingga nilai variansi $\sigma_{Z_j}^2$ menuju ke nilai limitnya.

$$\sigma_{Z_j}^2 \approx \sigma_{Z_\infty}^2 = \frac{\lambda\sigma_{X_j}^2}{2-\lambda} \tag{2.13}$$

Maka, nilai variansi dari Z_j akan konstan seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.13). Selanjutnya Persamaan (2.11) menjadi Persamaan (2.14) yang merupakan BKA pendekatan EWMA dan Persamaan (2.12) menjadi Persamaan (2.15) yang merupakan BKB pendekatan EWMA untuk rata-rata proses.

$$\begin{aligned} BKA &= Z_0 + L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}} \\ &= Z_0 + L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \end{aligned} \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned} BKB &= Z_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda(1-(1-\lambda)^{2j})}{2-\lambda}} \\ &= Z_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \end{aligned} \tag{2.15}$$

Keterangan:

- L : Lebar batas kendali
- BKA : Batas kendali atas
- BKB : Batas kendali bawah
- λ : Parameter pembobotan EWMA
- Z_0 : Garis tengah (*center line*)
- σ_{X_j} : Standar deviasi data

Apabila statistik karakteristik kualitas berada di antara Garis Tengah dan BKA atau BKB , maka suatu proses dapat dikatakan terkendali. Montgomery (2009) menyatakan bahwa konstanta L dapat mempengaruhi jarak antara GT

dengan batas kendali. Umumnya nilai L berada di antara $1 \leq L \leq 6$. Tingkat kesalahan dinyatakan menjadi semakin kecil apabila nilai L semakin tinggi. Peta kendali EWMA diasumsikan bahwa pengamatan prosesnya berdistribusi normal, maka probabilitas pola sebaran data pengamatan mengikuti kurva distribusi normal. Oleh karena itu, digunakan $L = 3$ sebagai lebar batas kontrol untuk peta kendali EWMA.

2.3 *Double Exponentially Weighted Moving Average*

Model pendekatan DEWMA merupakan hasil pengembangan dari model pendekatan EWMA dengan melakukan *exponential smoothing* dua kali. Model pendekatan ini dikembangkan oleh Shamma, S.E dan Shamma, S.K pada tahun 1992. Sebagai hasil dari pengembangan model pendekatan EWMA, model pendekatan DEWMA memiliki karakteristik yang hampir sama. Salah satunya adalah karakter data yang digunakan berdistribusi normal. Model pendekatan DEWMA dibangun dari asumsi bahwa data yang digunakan mengikuti distribusi normal (Abreu dan Schaffer, 2017). Bentuk umum model pendekatan DEWMA seperti pada Persamaan (2.15).

$$Y_j = \lambda Z_j + (1 - \lambda)Y_{j-1} \quad (2.16)$$

Keterangan:

Y_j : Nilai DEWMA rata-rata waktu ke - j .

λ : Parameter pembobotan DEWMA dengan nilai antara $0 < \lambda \leq 1$.

Z_j : Nilai EWMA pada waktu ke - j .

j : waktu atau subgrup dari pengamatan dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$

dengan $Y_0 = Z_0 = \mu_0$ dan *smoothing parameters* λ di antara 0 dan 1, $0 < \lambda \leq 1$.

Berdasarkan Persamaan (2.16) maka diperoleh persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Y_1 &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_{1-1} \\ &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_0 \\ Y_2 &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_{2-1} \\ &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_1 \\ &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)[\lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_0] \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$= \lambda Z_2 + \lambda(1 - \lambda)Z_1 + (1 - \lambda)^2 Y_0 \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} Y_3 &= \lambda Z_3 + (1 - \lambda)Y_{3-1} \\ &= \lambda Z_3 + (1 - \lambda)Y_2 \\ &= \lambda Z_3 + (1 - \lambda)[\lambda Z_2 + \lambda(1 - \lambda)Z_1 + (1 - \lambda)^2 Y_0] \\ &= \lambda Z_3 + \lambda(1 - \lambda)Z_2 + \lambda(1 - \lambda)^2 Z_1 + (1 - \lambda)^3 Y_0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Persamaan (2.17), (2.18), dan (2.19) dapat direkursi untuk Y_{j-m} , dengan $m = 4, 5, 6, \dots, j$ sehingga diperoleh Persamaan (2.20).

$$\begin{aligned} Y_j &= \lambda Z_j + \lambda(1 - \lambda)Z_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Z_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad Z_{j-(j-2)} + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} Z_{j-(j-1)} + (1 - \lambda)^j Y_{j-j} \\ &= \lambda Z_j + \lambda(1 - \lambda)Z_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Z_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad Z_2 + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} Z_1 + (1 - \lambda)^j Y_0 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Persamaan (2.20) secara sederhana dapat dinyatakan seperti dalam Persamaan (2.21).

$$Y_j = \lambda \sum_{m=0}^{j-1} (1 - \lambda)^m Z_{j-m} + (1 - \lambda)^j Y_0 \quad (2.21)$$

Atau juga dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.22) berikut.

$$Y_j = \lambda \sum_{m=1}^j (1 - \lambda)^{j-m} Z_m + (1 - \lambda)^j Y_0 \quad (2.22)$$

Persamaan DEWMA menggunakan hasil perhitungan EWMA ke dalam proses perhitungan DEWMA sehingga dengan mensubstitusikan Persamaan EWMA yaitu Persamaan (2.8) ke dalam Persamaan (2.22), maka akan diperoleh Persamaan (2.23). Adapun Persamaan (2.8) dinyatakan sebagai Z_m dan k merupakan indeks iterasi untuk Z_m dengan $k = 1, 2, \dots, m$.

$$\begin{aligned} Y_j &= \lambda \sum_{m=1}^j (1 - \lambda)^{j-m} Z_m + (1 - \lambda)^j Y_0 \\ &= \lambda \sum_{m=1}^j (1 - \lambda)^{j-m} \left[\lambda \sum_{k=1}^m (1 - \lambda)^{m-k} X_k + (1 - \lambda)^m Z_0 \right] + (1 - \lambda)^j Y_0 \\ &= \lambda^2 \sum_{k=1}^j (j - k + 1)(1 - \lambda)^{j-k} X_k + j\lambda(1 - \lambda)^j Z_0 + (1 - \lambda)^j Y_0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Rata-rata dan variansi dari pendekatan DEWMA menurut Shamma (1992) ditunjukkan pada Persamaan (2.24) dan Persamaan (2.25).

$$\mu_Y = \mu_X \quad (2.24)$$

$$\sigma_{Y_j}^2 = \lambda^4 \frac{\left[1 + (1 - \lambda)^2 - (j + 1)^2(1 - \lambda)^{2j} + (2j^2 + 2j - 1)(1 - \lambda)^{2j+2} - j^2(1 - \lambda)^{2j+4} \right]}{[1 - (1 - \lambda)^2]^3} \sigma^2 \quad (2.25)$$

Didefinisikan BKA dan BKB untuk diagram kontrol DEWMA yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.26) dan (2.27).

$$\begin{aligned} BKA &= \mu_0 + L \sqrt{Var(Y_j)} \\ &= \mu_0 + L \sqrt{\sigma_{Y_j}^2} \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} BKB &= \mu_0 - L \sqrt{Var(Y_j)} \\ &= \mu_0 - L \sqrt{\sigma_{Y_j}^2} \end{aligned} \quad (2.27)$$

dengan nilai statistik $\sigma_{Y_j}^2$ yang digunakan dari Persamaan (2.25)

Namun, untuk j yang makin meningkat, maka variansi $\sigma_{Y_j}^2$ akan menuju ke nilai limitnya sehingga diperoleh Persamaan (2.28)

$$\sigma_{Y_j}^2 \approx \sigma_{Y_\infty}^2 = \left[\frac{\lambda(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (2.28)$$

Sehingga, nilai variansi dari Y_j akan konstan seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.28). Selanjutnya BKA pada Persamaan (2.26) akan menjadi Persamaan (2.29) dan BKB pada Persamaan (2.27) akan menjadi Persamaan (2.30)

$$BKA = \mu_0 + L \sqrt{\frac{\lambda(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \sigma_{X_j}^2} \quad (2.29)$$

$$BKB = \mu_0 - L \sqrt{\frac{\lambda(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \sigma_{X_j}^2} \quad (2.30)$$

Keterangan:

L : Lebar batas kendali

BKA : Batas kendali atas

- BKB : Batas kendali bawah
 λ : Parameter pembobotan DEWMA
 μ_0 : Garis tengah (*center line*) atau rata-rata
 $\sigma_{X_j}^2$: Variansi data

2.4 Triple Exponentially Weighted Moving Average

Model pendekatan TEWMA diperkenalkan oleh Alevizakos dkk pada tahun 2020 sebagai hasil pengembangan dari model pendekatan EWMA dan DEWMA. Model TEWMA ini menggunakan karakteristik data yang berdistribusi normal seperti halnya EWMA dan DEWMA, hanya saja TEWMA melakukan *exponential smoothing* hingga tiga kali. Bentuk umum model pendekatan TEWMA seperti pada Persamaan (2.31).

$$W_j = \lambda Y_j + (1 - \lambda)W_{j-1} \quad (2.31)$$

Keterangan:

- W_j : Nilai TEWMA rata-rata waktu ke - j .
 λ : Parameter pembobotan TEWMA dengan nilai antara $0 < \lambda \leq 1$.
 Y_j : Nilai DEWMA pada waktu ke - j .
 j : waktu atau subgrup dari pengamatan dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$

dengan $W_0 = Y_0 = Z_0 = \mu_0$ dan parameter λ di antara 0 dan 1, $0 < \lambda \leq 1$.

Berdasarkan Persamaan (2.31) maka diperoleh persamaan-persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \lambda Y_1 + (1 - \lambda)W_{1-1} \\
 &= \lambda Y_1 + (1 - \lambda)W_0
 \end{aligned} \quad (2.32)$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \lambda Y_2 + (1 - \lambda)W_{2-1} \\
 &= \lambda Y_2 + (1 - \lambda)W_1 \\
 &= \lambda Y_2 + (1 - \lambda)[\lambda Y_1 + (1 - \lambda)W_0] \\
 &= \lambda Y_2 + \lambda(1 - \lambda)Y_1 + (1 - \lambda)^2 W_0
 \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned}
 W_3 &= \lambda Y_3 + (1 - \lambda)W_{3-1} \\
 &= \lambda Y_3 + (1 - \lambda)W_2 \\
 &= \lambda Y_3 + (1 - \lambda)[\lambda Y_2 + \lambda(1 - \lambda)Y_1 + (1 - \lambda)^2 W_0] \\
 &= \lambda Y_3 + \lambda(1 - \lambda)Y_2 + \lambda(1 - \lambda)^2 Y_1 + (1 - \lambda)^3 W_0
 \end{aligned} \quad (2.34)$$

Persamaan (2.32), (2.33), dan (2.34) dapat diperumum menjadi bentuk Persamaan (2.35)

$$W_j = \lambda \sum_{m=0}^{j-1} (1-\lambda)^m Y_{j-m} + (1-\lambda)^j W_0 \quad (2.35)$$

Persamaan TEWMA menggunakan nilai statistik DEWMA ke dalam perhitungan TEWMA sehingga dengan mensubstitusikan Persamaan DEWMA yaitu Persamaan (2.23) ke dalam Persamaan (2.35), maka akan diperoleh Persamaan (2.36)

$$W_j = \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) X_k + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] W_0 \quad (2.36)$$

Rata-rata dan variansi dari pendekatan TEWMA menurut Alevizakos dkk (2020) ditunjukkan pada Persamaan (2.37) dan Persamaan (2.38).

$$\mu_W = \mu_X \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{W_j}^2 = & \left[\frac{\theta^3 \lambda^6}{4} \left[- \left[\frac{j(j^2-1)(j-2)\theta^{j-3}}{1-\theta} \right] - 4 \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \\ & \left. \left. - 12 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^3} \right] - 24 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] + 24 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^5} \right] \right] \\ & + 2\theta^2 \lambda^6 \left[- \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{1-\theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^3} \right] \right. \\ & \left. + 6 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^4} \right] + \frac{7\theta \lambda^6}{2} \left[- \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)} \right] - \left[\frac{2(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \\ & \left. \left. + \left[\frac{2(1-\theta^{j+1})}{(1-\theta)^3} \right] \right] + \lambda^6 \left[\left[\left(\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right) - \left(\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)} \right) \right] \right] \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (2.38) \end{aligned}$$

dengan ketentuan $\theta = (1-\lambda)^2$

Didefinisikan BKA dan BKB untuk diagram kontrol TEWMA yang ditunjukkan oleh Persamaan (2.39) dan (2.40).

$$BKA = \mu_0 + L \sqrt{Var(W_j)}$$

$$= \mu_0 + L \sqrt{\sigma_{W_j}^2} \quad (2.39)$$

$$\begin{aligned} BKB &= \mu_0 - L \sqrt{Var(W_j)} \\ &= \mu_0 - L \sqrt{\sigma_{W_j}^2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

dengan nilai statistik $\sigma_{W_j}^2$, yang digunakan dari Persamaan (2.38)

Namun demikian, untuk j yang makin meningkat, maka variansi $\sigma_{W_j}^2$ akan menuju ke nilai limitnya sehingga diperoleh Persamaan (2.41)

$$\sigma_{W_j}^2 \approx \sigma_{Y_\infty}^2 = \left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (2.41)$$

Maka, nilai variansi dari W_j akan konstan seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (2.41). Selanjutnya BKA pada Persamaan (2.39) akan menjadi Persamaan (2.42) dan BKB pada Persamaan (2.40) akan menjadi Persamaan (2.43)

$$BKA = \mu_0 + L \sqrt{\left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2} \quad (2.42)$$

$$BKB = \mu_0 - L \sqrt{\left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2} \quad (2.43)$$

Keterangan:

- L : Lebar batas kendali
- BKA : Batas kendali atas
- BKB : Batas kendali bawah
- λ : Parameter pembobotan TEWMA
- μ_0 : Garis tengah (*center line*) atau rata-rata
- $\sigma_{X_j}^2$: Variansi data

2.5 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah uji yang dilakukan untuk menilai suatu sebaran data pada sebuah kelompok data atau variabel, apakah sebaran data tersebut berdistribusi normal atau tidak. Salah satu uji statistik normalitas yang dapat digunakan yaitu uji Kolmogorov-Smirnov yang dirumuskan sebagai berikut

Hipotesis:

- H_0 : Data sampel berdistribusi normal
- H_1 : Data sampel tidak berdistribusi normal

Statistik Uji:

$$D_{hitung} = \max |F_s(x_i) - F_0(x_i)|$$

$$F_s(x_i) = \frac{f_{kum}}{n} \quad (2.44)$$

dengan:

D_{hitung} : Deviasi maksimum

D_{tabel} : Nilai tabel Kolmogorov-Smirnov

$F_0(x_i)$: Fungsi distribusi yang dihipotesiskan distribusi normal

$F_s(x_i)$: Fungsi distribusi kumulatif dari data sampel

f_{kum} : Frekuensi kumulatif ke- i

n : Jumlah sampel

Kriteria Pengujian:

- Jika nilai $D_{hitung} < D_{tabel}$, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak
- Jika nilai $D_{hitung} > D_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

Pengujian normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov dapat menggunakan software Minitab atau SPSS, yang apabila $P_{value} > \alpha$ maka H_0 diterima, berarti data sampel berdistribusi normal (Quraisy, 2020).

2.6 Average Run Length

Average Run Length (ARL) merupakan rata-rata banyaknya titik-titik sampel (subgrup) yang harus diamati dan diplot sebelum ditemukannya sinyal ketidakterkendalian atau *out of control* yang pertama. ARL dapat digunakan untuk mengukur performa peta kendali (Nurhaedah dkk., 2020). Secara umum, nilai ARL dirumuskan sebagai berikut (Khamid dkk., 2018).

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.45)$$

dengan p merupakan probabilitas bahwa satu titik keluar batas kendali, $p \neq 0$. ARL juga dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (2.46)$$

$$ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta} \quad (2.47)$$

Keterangan:

ARL_0 = ARL dalam keadaan terkendali

ARL_1 = ARL dalam keadaan tidak terkendali

α = Probabilitas kesalahan/*error* tipe I (menyatakan keadaan tidak terkendali padahal keadaan terkendali) atau probabilitas suatu titik rata-rata sampel jatuh di luar batas kendali pada saat proses terkendali (α disebut sebagai probabilitas *false alarm*)

β = Probabilitas kesalahan/*error* tipe II (menyatakan keadaan terkendali padahal keadaan tidak terkendali) atau probabilitas suatu titik rata-rata sampel jatuh di dalam batas kendali pada saat proses tidak terkendali

ARL_0 diharapkan harus besar sedangkan ARL_1 harus sekecil mungkin karena terdiri dari jumlah pengamatan yang diharapkan sebelum peta kendali memberikan alarm keadaan di luar kendali yang salah. Semakin kecil ARL_1 , semakin baik kinerja peta kendali (Gupta, 2021).

2.7 UD. Masagena Frozen Food

Masagena *Frozen Food* adalah produsen makanan beku siap saji berupa *nugget*, bakso, ayam-ayam, empek-empek, dan aneka makan beku lainnya yang didirikan pada Maret 2019. Lokasi usaha berada di BTN. Andi Tonro Permai D5B No.8 RT RW Sungguminasa Kab. Gowa. Branding dari usaha ini yaitu Masagena dengan jargon “Harga murah tapi rasa tidak murahan”. Konsep produk dari Masagena *Frozen Food* adalah makanan beku yang beraneka ragam jenisnya dimana setiap produk memiliki rasa, bentuk, bahan baku yang berbeda. Sehingga, proses pembuatan memerlukan beberapa tahapan dengan prosedur yang berbeda

untuk setiap jenisnya. Usaha ini telah mendapatkan izin dari Badan Standarisasi Nasional (BSN) yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berfungsi dalam menjamin semua produk yang dihasilkan telah memenuhi aturan dari pemerintah Indonesia mengenai jaminan mutu produksi.

BAB III

METODELOGI

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder jumlah produk cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food untuk data mingguan selama periode Juni 2021 sampai Mei 2022. Data yang diolah dengan model pendekatan TEWMA adalah data dengan distribusi normal.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah cacat produksi untuk jenis kecacatan yang umum terjadi yaitu berupa produk yang patah atau menempel, adonan yang lembek, dan kesalahan dalam proses pengemasan produk yang menyebabkan penurunan kualitas produksi.

3.3 Tahapan Analisis Data

Adapun tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengkaji rumusan rata-rata, variansi dan batas pengendali peta kendali TEWMA.
2. Melakukan pengujian normalitas pada data jumlah cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food menggunakan Persamaan (2.44)

$$D_{hitung} = \max |F_s(x_i) - F_0(x_i)|$$

$$F_s(x_i) = \frac{f_{kum}}{m}$$

3. Membuat peta kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA untuk memantau *plot* data yang *in control* dan *out of control*.
 - a. Membuat peta kendali EWMA dengan batas kendali pada Persamaan (2.11) dan (2.12)

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{Z_j}$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{Z_j}$$

- b. Membuat peta kendali DEWMA dengan batas kendali pada Persamaan (2.26) dan (2.27)

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{Y_j}$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{Y_j}$$

- c. Membuat peta kendali TEWMA dengan batas kendali pada Persamaan (2.39) dan (2.40)

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{W_j}$$

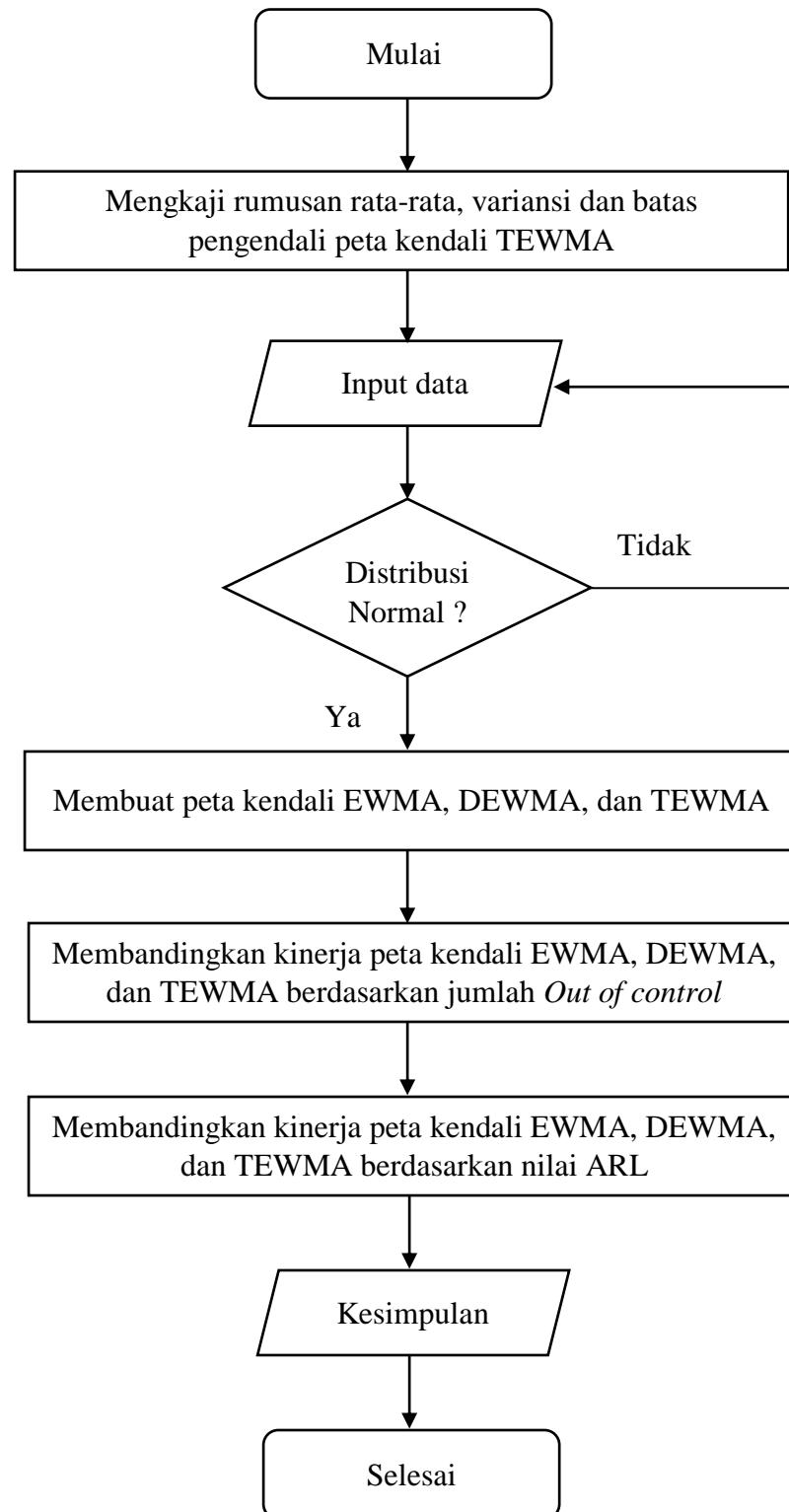
$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{W_j}$$

4. Menghitung nilai jumlah data *out of control* pada peta kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA.
5. Menghitung nilai ARL peta kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA menggunakan Persamaan (2.45)

$$ARL = \frac{1}{p}$$

6. Membandingkan performa peta kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA berdasarkan jumlah *out of control* dan ARL dalam monitoring pergeseran rata-rata proses
7. Menarik kesimpulan

3.4 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMAHASAN

4.1 Peta Kendali TEWMA

Secara matematis model pendekatan TEWMA telah didefinisikan pada Persamaan (2.31) yaitu

$$W_j = \lambda Y_j + (1 - \lambda)W_{j-1}$$

Berdasarkan Persamaan (2.31) maka W_j dapat dijabarkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_j &= \lambda Y_j + (1 - \lambda)W_{j-1} \\ &= \lambda Y_j + (1 - \lambda)[\lambda Y_{j-1} + (1 - \lambda)W_{j-2}] \\ &= \lambda Y_j + \lambda(1 - \lambda)Y_{j-1} + (1 - \lambda)^2 W_{j-2} \\ &= \lambda Y_j + \lambda(1 - \lambda)Y_{j-1} + (1 - \lambda)^2 [\lambda Y_{j-2} + (1 - \lambda)W_{j-3}] \\ &= \lambda Y_j + \lambda(1 - \lambda)Y_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Y_{j-2} + (1 - \lambda)^3 W_{j-3} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Persamaan (4.1) direkursi untuk W_{j-m} , dengan $m = 4, 5, 6, \dots, j$ sehingga diperoleh Persamaan (4.2).

$$\begin{aligned} W_j &= \lambda Y_j + \lambda(1 - \lambda)Y_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Y_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad Y_{j-(j-2)} + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} Y_{j-(j-1)} + (1 - \lambda)^j W_{j-j} \\ &= \lambda Y_j + \lambda(1 - \lambda)Y_{j-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Y_{j-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{j-2} \\ &\quad Y_2 + \lambda(1 - \lambda)^{j-1} Y_1 + (1 - \lambda)^j W_0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Persamaan (4.2) secara sederhana dapat dinyatakan seperti dalam Persamaan (4.3).

$$W_j = \lambda \sum_{m=0}^{j-1} (1 - \lambda)^m Y_{j-m} + (1 - \lambda)^j W_0 \quad (4.3)$$

Atau dapat dinyatakan dalam Persamaan (4.4) berikut.

$$W_j = \lambda \sum_{m=1}^j (1 - \lambda)^{j-m} Y_m + (1 - \lambda)^j W_0 \quad (4.4)$$

Persamaan TEWMA menggunakan nilai statistik DEWMA ke dalam perhitungan TEWMA sehingga dengan mensubstitusikan Persamaan DEWMA yaitu Persamaan (2.23) ke dalam Persamaan (4.4), maka akan diperoleh

Persamaan (4.5). Adapun Persamaan (2.23) dinyatakan sebagai Y_m dan k merupakan indeks iterasi untuk Y_m dengan $k = 1, 2, \dots, m$.

$$\begin{aligned}
 W_j &= \lambda \sum_{m=1}^j (1-\lambda)^{j-m} Y_m + (1-\lambda)^j W_0 \\
 &= \lambda \sum_{m=1}^j (1-\lambda)^{j-m} \left[\lambda^2 \sum_{k=1}^m (1-\lambda)^{m-k} (m-k+1) X_k + \lambda m (1-\lambda)^m Z_0 \right. \\
 &\quad \left. + (1-\lambda)^m Y_0 \right] + (1-\lambda)^j W_0 \\
 &= \lambda^3 \sum_{m=1}^j \sum_{k=1}^m (1-\lambda)^{j-k} (m-k+1) X_k + \lambda \sum_{m=1}^j (1-\lambda)^j (\lambda m + 1) Y_0 \\
 &\quad + (1-\lambda)^j W_0 \tag{4.5}
 \end{aligned}$$

Bentuk $\sum_{m=1}^j \sum_{k=1}^m f(m, k)$ dapat diubah melalui Persamaan (4.6)

$$W_j = \sum_{m=1}^j \sum_{k=1}^m f(m, k) = \sum_{1 \leq k \leq m \leq j} f(m, k) = \sum_{k=1}^j \sum_{m=k}^j f(m, k) \tag{4.6}$$

Sehingga diperoleh Persamaan (4.7) berikut.

$$\begin{aligned}
 W_j &= \lambda^3 \sum_{k=1}^j \sum_{m=k}^j (1-\lambda)^{j-k} (m-k+1) X_k + \lambda \sum_{m=1}^j (1-\lambda)^j (\lambda m + 1) Y_0 \\
 &\quad + (1-\lambda)^j W_0 \\
 &= \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j^2 - 2kj + 3j + k^2 - 3k + 2) X_k + \lambda (1-\lambda)^j \\
 &\quad \left(\frac{1}{2} \right) j [\lambda j + \lambda + 2] Y_0 + (1-\lambda)^j W_0 \\
 &= \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) X_k + \left(\frac{\lambda}{2} \right) (1-\lambda)^j \\
 &\quad j(\lambda j + \lambda + 2) Y_0 + (1-\lambda)^j W_0
 \end{aligned}$$

$$= \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) X_k + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] W_0 \quad (4.7)$$

4.1.1 Penentuan Rata-rata Peta Kendali TEWMA

Rata-rata peta kendali TEWMA dapat diperoleh dengan mencari ekspektasi dari W_j . Sesuai Persamaan (4.7) nilai rata-rata dari W_j yaitu:

$$\begin{aligned} \mu_{W_j} &= E(W_j) \\ &= E \left[\frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) X_k + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] W_0 \right] \\ &= \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) E(X_k) + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] E(W_0) \\ &= \frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) \mu_0 + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \mu_0 \\ &= \left[\frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2) + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Misalkan $l = j - k + 1$, maka diperoleh Persamaan (4.9) sebagai berikut

$$\mu_{W_j} = \left[\frac{\lambda^3}{2} \sum_{l=1}^j l(l+1)(1-\lambda)^{l-1} + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \quad (4.9)$$

Misalkan $\theta = 1 - \lambda$, dengan menggunakan identitas pada Lampiran 1, maka diperoleh rata-rata TEWMA pada Persamaan (4.10).

$$\begin{aligned}
 \mu_{W_j} &= \left[\frac{\lambda^3}{2} \sum_{l=1}^j l(l-1+2) \theta^{l-1} + \left(\frac{\theta^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \\
 &= \left[\frac{\theta \lambda^3}{2} \sum_{l=1}^j l(l-1) \theta^{l-2} + \lambda^3 \sum_{l=1}^j l \theta^{l-1} + \left(\frac{\theta^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \\
 &= \left[\frac{\theta \lambda^3}{2} \left[- \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{1-\theta} \right] - \left[\frac{2(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^2} \right] + \left[\frac{2(1-\theta^{j+1})}{(1-\theta)^3} \right] \right] \right. \\
 &\quad \left. + \lambda^3 \left[\left(\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right) - \left(\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)} \right) \right] + \left(\frac{\theta^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \\
 &= \left[- \left[\frac{\lambda^3 j(j+1)\theta^j}{2(1-\theta)} \right] - \left[\frac{\lambda^3 (j+1)\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right] + \left[\frac{\lambda^3 (\theta - \theta^{j+2})}{(1-\theta)^3} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \lambda^3 \left(\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right) - \lambda^3 \left(\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)} \right) + \left(\frac{\theta^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \\
 &= \left[- \left[\frac{\lambda^3 j(j+1)\theta^j}{2\lambda} \right] - \left[\frac{\lambda^3 (j+1)\theta^{j+1}}{\lambda^2} \right] + \left[\frac{\lambda^3 (\theta - \theta^{j+2})}{\lambda^3} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \lambda^3 \left(\frac{1-\theta^{j+1}}{\lambda^2} \right) - \lambda^3 \left(\frac{(j+1)\theta^j}{\lambda} \right) + \left(\frac{\theta^j}{2} \right) [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \mu_0 \\
 &= \left[- \left[\frac{\lambda^2 j(j+1)\theta^j}{2} \right] - \lambda(j+1)\theta^{j+1} + (1-\lambda)(1-\theta^{j+1}) \right. \\
 &\quad \left. + \lambda(1-\theta^{j+1}) - \lambda^2(j+1)\theta^j + \left(\frac{\lambda^2 j(j+1)\theta^j}{2} \right) + (\lambda j + 1)\theta^j \right] \mu_0 \\
 &= [-\lambda(j+1)\theta^{j+1} + (1-\lambda)(1-\theta^{j+1}) + \lambda(1-\theta^{j+1}) - \lambda^2(j+1)\theta^j \\
 &\quad + (\lambda j + 1)\theta^j] \mu_0 \\
 &= [-\lambda(j+1)\theta^{j+1} + (1-\theta^{j+1}) + \theta^{j+1} + \lambda(j+1)\theta^{j+1}] \mu_0 \\
 &= [1] \mu_0 \\
 &= \mu_0 \tag{4.10}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Penentuan Variansi Peta Kendali TEWMA

Nilai variansi sebagai nilai penyebaran dari TEWMA untuk W_j diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{W_j}^2 &= \text{Var}(W_j) \\
 &= \text{Var} \left[\frac{\lambda^3}{2} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{j-k} (j-k+1)(j-k+2)X_k + \left(\frac{(1-\lambda)^j}{2} \right) \right. \\
 &\quad \left. [\lambda j (\lambda j + \lambda + 2) + 2] \right] \\
 &= \frac{\lambda^6}{4} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{2(j-k)} (j-k+1)^2 (j-k+2)^2 \text{Var}(X_k) + 0 \\
 &= \left[\frac{\lambda^6}{4} \sum_{k=1}^j (1-\lambda)^{2(j-k)} (j-k+1)^2 (j-k+2)^2 \right] \sigma^2 \tag{4.11}
 \end{aligned}$$

Misalkan $\theta = (1-\lambda)^2$ dan $l = (j-k+1)$, dengan menggunakan identitas pada Lampiran 1, maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{W_j}^2 &= \text{Var}(W_j) \\
 &= \left[\frac{\lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l^2 (l+1)^2 \theta^{l-1} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 &= \left[\frac{\lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j (l^4 + 2l^3 + l^2) \theta^{l-1} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 &= \left[\frac{\theta^3 \lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2)(l-3) \theta^{l-4} + \frac{8\theta^2 \lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2) \theta^{l-3} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{14\theta \lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l(l-1) \theta^{l-2} + \frac{4\lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l \theta^{l-1} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 &= \left[\frac{\theta^3 \lambda^6}{4} \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2)(l-3) \theta^{l-4} + 2\theta^2 \lambda^6 \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2) \theta^{l-3} \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{7\theta\lambda^6}{2} \sum_{l=1}^j l(l-1)\theta^{l-2} + \lambda^6 \sum_{l=1}^j l\theta^{l-1} \Big] \sigma_{X_j}^2 \\
 = & \left[\frac{\theta^3\lambda^6}{4} \left[- \left[\frac{j(j^2-1)(j-2)\theta^{j-3}}{1-\theta} \right] - 4 \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. - 12 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^3} \right] - 24 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] + 24 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^5} \right] \right] \right. \\
 & \left. + 2\theta^2\lambda^6 \left[- \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{1-\theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^3} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + 6 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^4} \right] + \frac{7\theta\lambda^6}{2} \left[- \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)} \right] - \left[\frac{2(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \left[\frac{2(1-\theta^{j+1})}{(1-\theta)^3} \right] + \lambda^6 \left[\left[\left(\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right) - \left(\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)} \right) \right] \right] \right] \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (4.12)
 \end{aligned}$$

Jika $j = 1, 2, 3, \dots, n$ mendekati tak hingga, maka variansi $\sigma_{W_j}^2$ menuju ke nilai limitnya sehingga diperoleh Persamaan (4.13).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{W_j}^2 & = \lim_{j \rightarrow \infty} \left(\left[\frac{\theta^3\lambda^6}{4} \left[- \left[\frac{j(j^2-1)(j-2)\theta^{j-3}}{1-\theta} \right] - 4 \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. - 12 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^3} \right] - 24 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] + 24 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^5} \right] \right] \right. \\
 & \left. + 2\theta^2\lambda^6 \left[- \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{1-\theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^3} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. + 6 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^4} \right] + \frac{7\theta\lambda^6}{2} \left[- \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)} \right] - \left[\frac{2(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^2} \right] \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + \left[\frac{2(1-\theta^{j+1})}{(1-\theta)^3} \right] + \lambda^6 \left[\left[\left(\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^2} \right) - \left(\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)} \right) \right] \right] \right] \right] \right) \sigma_{X_j}^2 \\
 = & \left[\frac{\theta^3\lambda^6}{4} \left[-1(0) - 4(0) - 12(0) - 24(0) + 24 \left(\frac{1}{(1-\theta)^5} \right) \right] \right. \\
 & \left. + 2\theta^2\lambda^6 \left[-1(0) - 3(0) - 6(0) + 6 \left(\frac{1}{(1-\theta)^4} \right) \right] \right. \\
 & \left. + \frac{7\theta\lambda^6}{2} \left[-1(0) - 1(0) + 1 \left(\frac{2}{(1-\theta)^3} \right) \right] \right) \sigma_{X_j}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \lambda^6 \left[\left[1 \left(\frac{1}{(1-\theta)^2} \right) - 1(0) \right] \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 = & \left[\frac{\theta^3 \lambda^6}{4} \left(\frac{24}{(1-\theta)^5} \right) + 2\theta^2 \lambda^6 \left(\frac{6}{(1-\theta)^4} \right) + \frac{7\theta \lambda^6}{2} \left(\frac{2}{(1-\theta)^3} \right) \right. \\
 & \left. + \lambda^6 \left(\frac{1}{(1-\theta)^2} \right) \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 = & \left[\frac{6\theta^3 \lambda^6}{(1-\theta)^5} + \frac{12\theta^2 \lambda^6}{(1-\theta)^4} + \frac{7\theta \lambda^6}{(1-\theta)^3} + \frac{\lambda^6}{(1-\theta)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (4.13)
 \end{aligned}$$

Substitusikan nilai $(1-\lambda)^2$ ke dalam nilai θ yang dimisalkan tadi sehingga diperoleh Persamaan (4.14).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{W_j}^2 & = \left[\frac{6\theta^3 \lambda^6}{(1-\theta)^5} + \frac{12\theta^2 \lambda^6}{(1-\theta)^4} + \frac{7\theta \lambda^6}{(1-\theta)^3} + \frac{\lambda^6}{(1-\theta)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6((1-\lambda)^2)^3 \lambda^6}{(1-(1-\lambda)^2)^5} + \frac{12((1-\lambda)^2)^2 \lambda^6}{(1-(1-\lambda)^2)^4} + \frac{7((1-\lambda)^2) \lambda^6}{(1-(1-\lambda)^2)^3} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\lambda^6}{(1-(1-\lambda)^2)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda^6}{(1-(1-2\lambda+\lambda^2))^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^6}{(1-(1-2\lambda+\lambda^2))^4} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^6}{(1-(1-2\lambda+\lambda^2))^3} + \frac{\lambda^6}{(1-(1-2\lambda+\lambda^2))^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda^6}{(1-1+2\lambda-\lambda^2)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^6}{(1-1+2\lambda-\lambda^2)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^6}{(1-1+2\lambda-\lambda^2)^3} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{\lambda^6}{(1-1+2\lambda-\lambda^2)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda^6}{(2\lambda-\lambda^2)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^6}{(2\lambda-\lambda^2)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^6}{(2\lambda-\lambda^2)^3} + \frac{\lambda^6}{(2\lambda-\lambda^2)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda^6}{(\lambda(2-\lambda))^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^6}{(\lambda(2-\lambda))^4} + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^6}{(\lambda(2-\lambda))^3} + \frac{\lambda^6}{(\lambda(2-\lambda))^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda^6}{\lambda^5(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^6}{\lambda^4(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^6}{\lambda^3(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^6}{\lambda^2(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 & = \left[\frac{6(1-\lambda)^6 \lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4 \lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2 \lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2 \quad (4.14)
 \end{aligned}$$

4.1.3 Penentuan Batas Kendali TEWMA

BKA TEWMA dinyatakan dengan Persamaan (4.15) sedangkan BKB TEWMA dinyatakan dengan Persamaan (4.16) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 BKA &= \mu_0 + L\sigma_{W_j} \\
 &= \mu_0 + L \sqrt{\left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2} \\
 &= \mu_0 + L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}} \quad (4.15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BKB &= \mu_0 - L\sigma_{W_j} \\
 &= \mu_0 - L \sqrt{\left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] \sigma_{X_j}^2} \\
 &= \mu_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}} \quad (4.16)
 \end{aligned}$$

4.2 Studi Kasus Data Jumlah Cacat Produksi UD. Masagena Frozen Food

4.2.1 Uji Normalitas

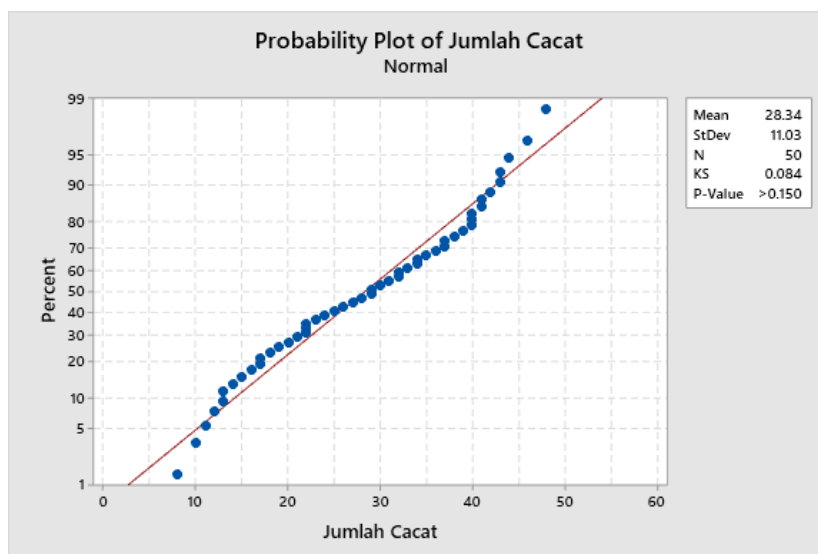
Perlu terlebih dahulu untuk memastikan data cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food telah memenuhi asumsi normalitas sebelum membuat peta kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA sebagaimana yang terdapat pada Lampiran 2. Data jumlah kecacatan produk belum tentu berdistribusi normal sehingga dilakukan uji normalitas pada data. Pengujian asumsi distribusi normal menggunakan uji Kolmogorov Smirnov.

Hipotesis:

H_0 : Data jumlah kecacatan berdistribusi normal

H_1 : Data jumlah kecacatan tidak berdistribusi normal

Berikut hasil uji Kolmogorov-Smirnov dengan menggunakan *software* Minitab yang ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Plot Normalitas Data Jumlah Kecacatan

Hasil uji normalitas Kolmogorov-Smirnov pada Gambar 4.1 menunjukkan nilai p -value lebih besar dari 0.150 sehingga tidak cukup bukti untuk menolak H_0 , maka dapat disimpulkan data jumlah kecacatan produk telah berdistribusi normal. Normalitas dari data juga dapat dideteksi dengan melihat penyebaran *plot* data pada sumbu diagonal grafik. Pada Gambar 4.1, terlihat *plot* data yang diperoleh menyebar di sekitar garis diagonal dan mengikuti arah garis diagonal sehingga menunjukkan data berdistribusi normal.

Berdasarkan Persamaan (2.44), uji Kolmogorov-Smirnov dapat dilakukan dengan membandingkan nilai D_{hitung} dan D_{tabel} . Nilai D_{hitung} dapat diperoleh berdasarkan perhitungan di Lampiran 3 sedangkan nilai D_{tabel} dapat diperoleh dengan melihat tabel nilai kritis uji Kolmogorov-Smirnov untuk baris $n = 50$ dan kolom $\alpha = 0.05$ yang terdapat pada Lampiran 4.

$$\begin{aligned} D_{hitung} &= \max |f_s(x_i) - f_0(x_i)| \\ &= 0.0774 \end{aligned}$$

$$D_{tabel} = 0.188$$

karena nilai $D_{hitung} < D_{tabel}$, maka H_0 diterima sehingga dapat disimpulkan bahwa datanya telah berdistribusi normal.

4.2.2 Peta Kendali EWMA

Peta kendali EWMA bertujuan untuk mendeteksi pergeseran kecil pada proses rata-rata. Data sudah terkendali secara statistik atau tidak dapat diketahui dengan membuat peta kendali EWMA terlebih dahulu.

1. Perhitungan rata-rata dan standar deviasi

$$\begin{aligned}\mu_X &= \bar{x} \\ &= \frac{\sum_{t=1}^n x_t}{n} \\ &= \frac{1417}{50} \\ &= 28.3400\end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}\sigma_X &= \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}{n - 1}} \\ &= \sqrt{121.575918} \\ &= 11.0261\end{aligned}$$

Rata-rata data cacat produk merupakan nilai awal EWMA, yaitu $Z_0 = \mu_X = \bar{x} = 28.34$

2. Perhitungan nilai statistik Z_j

Pencarian nilai masing-masing statistik Z_j dari tiap *plot* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.1). Sebagaimana diketahui bahwa nilai masing-masing statistik Z_j saling berkaitan, yaitu nilai statistik Z_1 dibutuhkan untuk mencari nilai statistik Z_2 , dan begitu seterusnya hingga mendapatkan nilai statistik Z_{50} . Nilai parameter λ yang digunakan sebagai parameter pembobotan adalah 0.01 hingga 0.99, namun pada contoh kasus ini nilai parameter λ yang dipilih ialah $\lambda = 0.6$. Nilai statistik Z_j dengan nilai $\lambda = 0.6$ melalui Persamaan (2.1) akan menghasilkan deretan statistik Z_j sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Z_1 &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_{1-1} \\ &= \lambda X_1 + (1 - \lambda)Z_0 \\ &= (0.6)(34) + (1 - 0.6)(28.34) \\ &= 31.7360\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_2 &= \lambda X_2 + (1 - \lambda)Z_{2-1} \\
&= \lambda X_2 + (1 - \lambda)Z_1 \\
&= (0.6)(43) + (1 - 0.6)(31.7360) \\
&= 38.4944
\end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
Z_{50} &= \lambda X_{50} + (1 - \lambda)Z_{49} \\
&= (0.6)(23) + (1 - 0.6)(24.9003) \\
&= 23.7601
\end{aligned}$$

3. Perhitungan batas kendali atas dan bawah

BKA untuk peta kendali EWMA dengan parameter $\lambda = 0.6$ melalui Persamaan (2.11) akan menghasilkan batas kendali sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
BKA_{(1)} &= Z_0 + L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda(1 - (1 - \lambda)^{2(1)})}{2 - \lambda}} \\
&= 28.34 + (3)(11.0261) \sqrt{\frac{(0.6)(1 - (1 - 0.6)^{2(1)})}{2 - 0.6}} \\
&= 48.1871
\end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

$$\begin{aligned}
BKA_{(2)} &= 49.7159 \\
BKA_{(3)} &= 49.9505 \\
&\vdots \\
BKA_{(50)} &= 49.9949
\end{aligned}$$

Adapun BKB untuk peta kendali EWMA dengan nilai parameter $\lambda = 0.6$ melalui Persamaan (2.12) diperoleh batas kendali sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
BKB_{(1)} &= Z_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda(1 - (1 - \lambda)^{2(1)})}{2 - \lambda}} \\
&= 28.34 - (3)(11.0261) \sqrt{\frac{(0.6)(1 - (1 - 0.6)^{2(1)})}{2 - 0.6}} \\
&= 8.4929
\end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

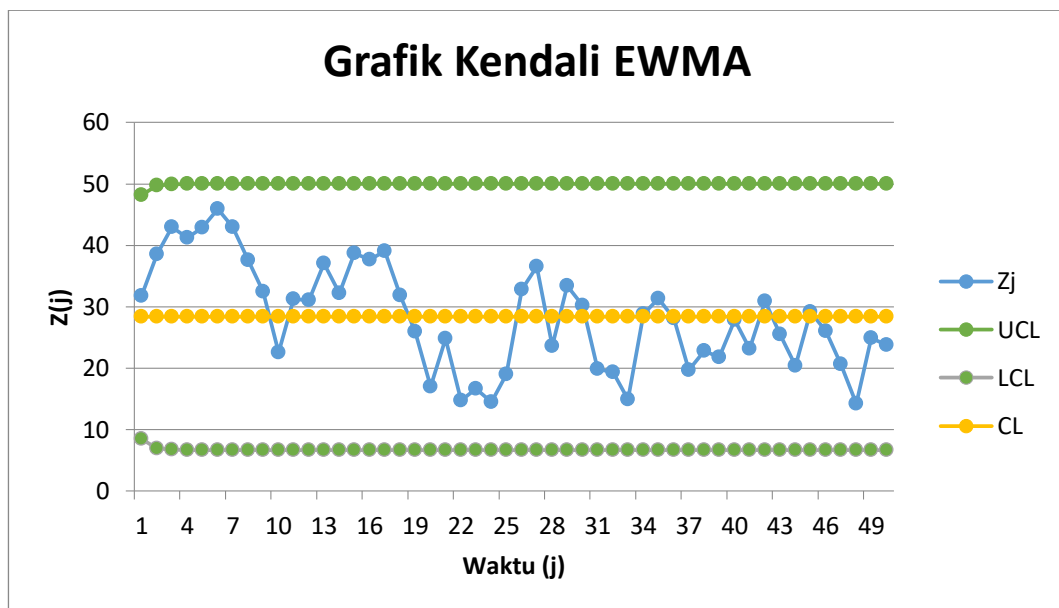
$$BKB_{(2)} = 6.9641$$

$$BKB_{(3)} = 6.7295$$

⋮

$$BKB_{(50)} = 6.6851$$

Berdasarkan nilai statistik Z_j , BKA dan BKB yang telah diperoleh maka didapatkan grafik kendali EWMA dengan $\lambda = 0.6$ sebagai berikut



Gambar 4.2 Grafik Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0.6$

Berdasarkan peta kendali EWMA di atas, tidak terdapat *plot* data yang keluar dari batas kendali atau tidak ditemukan adanya data *out of control* sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi dalam keadaan terkendali. Adapun nilai statistik Z_j , BKA, BKB dan GT untuk $\lambda = 0.6$ dapat dilihat selengkapnya di Lampiran 5.

4.2.3 Peta Kendali DEWMA

Peta kendali DEWMA bertujuan untuk mendeteksi pergeseran kecil pada proses rata-rata dengan *exponential smoothing* dua kali. Data sudah terkendali secara statistik atau tidak dapat diketahui dengan membuat peta kendali DEWMA terlebih dahulu.

1. Perhitungan nilai statistik Y_j

Pencarian nilai masing-masing statistik Y_j dari tiap *plot* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.16). Sebagaimana diketahui bahwa nilai masing-masing statistik Y_j saling berkaitan, yaitu nilai statistik Y_1 dibutuhkan untuk mencari nilai statistik Y_2 , dan begitu seterusnya hingga mendapatkan nilai statistik Y_{50} .

$$\begin{aligned} Y_1 &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_{1-1} \\ &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_0 \\ &= (0.6)(31.736) + (1 - 0.6)(28.34) \\ &= 30.3776 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_{2-1} \\ &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_1 \\ &= (0.6)(38.494) + (1 - 0.6)(30.3776) \\ &= 35.2477 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} Y_{50} &= \lambda Z_{50} + (1 - \lambda)Y_{49} \\ &= (0.6)(23.76) + (1 - 0.6)(22.0239) \\ &= 23.0656 \end{aligned}$$

2. Perhitungan batas kendali atas dan bawah

BKA untuk peta kendali DEWMA dengan nilai parameter $\lambda = 0.6$ melalui Persamaan (2.26) diperoleh batas kendali sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKA_{(1)} &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\lambda^4 \frac{[1 + (1 - \lambda)^2 - (j + 1)^2(1 - \lambda)^{2j} + (2j^2 + 2j - 1)(1 - \lambda)^{2j+2} - j^2(1 - \lambda)^{2j+4}]}{[1 - (1 - \lambda)^2]^3}} \\ &= 28.34 + (3)(11.0261) \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(0.6)^4 \frac{\left[\frac{1 + (1 - 0.6)^2 - (1 + 1)^2(1 - 0.6)^{2(1)} + (2(1)^2 + 2(1) - 1)(1 - 0.6)^{2(1)+2} - (1)^2(1 - 0.6)^{2(1)+4}}{[1 - (1 - 0.6)^2]^3} \right]} \\ &= 28.34 + (3)(11.0261) \sqrt{0.1296} \\ &= 40.2482 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

$$BKA_{(2)} = 43.5900$$

$$BKA_{(3)} = 44.6260$$

⋮

$$BKA_{(50)} = 44.9993$$

Adapun BKB untuk peta kendali DEWMA dengan nilai parameter $\lambda = 0.6$ melalui Persamaan (2.27) diperoleh batas kendali sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKB_{(1)} &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\lambda^4 \frac{\left[\frac{1 + (1 - \lambda)^2 - (j + 1)^2(1 - \lambda)^{2j} + (2j^2 + 2j - 1)(1 - \lambda)^{2j+2} - j^2(1 - \lambda)^{2j+4}}{[1 - (1 - \lambda)^2]^3} \right]} \\ &= 28.34 - (3)(11.0261) \times \\ & \quad \sqrt{(0.6)^4 \frac{\left[\frac{1 + (1 - 0.6)^2 - (1 + 1)^2(1 - 0.6)^{2(1)} + (2(1)^2 + 2(1) - 1)(1 - 0.6)^{2(1)+2} - (1)^2(1 - 0.6)^{2(1)+4}}{[1 - (1 - 0.6)^2]^3} \right]} \\ &= 28.34 - (3)(11.0261) \sqrt{0.1296} \\ &= 16.4318 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

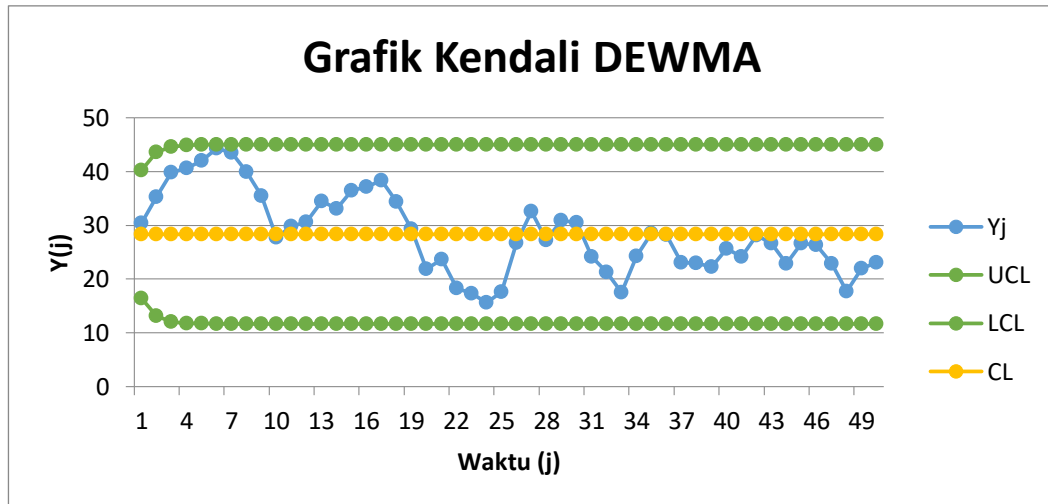
$$BKB_{(2)} = 13.0900$$

$$BKB_{(3)} = 12.0540$$

⋮

$$BKB_{(50)} = 11.6807$$

Berdasarkan nilai statistik Y_j , BKA dan BKB yang telah diperoleh maka didapatkan grafik kendali DEWMA dengan $\lambda = 0.6$ sebagai berikut.



Gambar 4.3 Grafik Peta Kendali DEWMA untuk $\lambda = 0.6$

Berdasarkan peta kendali DEWMA di atas, tidak terdapat *plot* data yang keluar dari batas kendali atau tidak ditemukan adanya data *out of control* sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi dalam keadaan terkendali. Adapun nilai statistik Y_j , BKA, BKB, dan GT untuk $\lambda = 0.6$ dapat dilihat selengkapnya di Lampiran 6.

4.2.4 Peta Kendali TEWMA

Peta kendali TEWMA bertujuan untuk mendeteksi pergeseran kecil pada proses rata-rata dengan *exponential smoothing* tiga kali. Data sudah terkendali secara statistik atau tidak dapat diketahui dengan membuat peta kendali TEWMA terlebih dahulu.

1. Perhitungan nilai statistik W_j

Pencarian nilai masing-masing statistik W_j dari tiap *plot* dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.31). Sebagaimana diketahui bahwa nilai masing-masing statistik W_j saling berkaitan, yaitu nilai statistik W_1 dibutuhkan untuk mencari nilai statistik W_2 , dan begitu seterusnya hingga mendapatkan nilai statistik W_{50} .

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \lambda Y_1 + (1 - \lambda)W_{1-1} \\
 &= \lambda Y_1 + (1 - \lambda)W_0 \\
 &= (0.6)(30.378) + (1 - 0.6)(28.34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 29.5626 \\
 W_2 &= \lambda Y_2 + (1 - \lambda)W_{2-1} \\
 &= \lambda Y_2 + (1 - \lambda)W_1 \\
 &= (0.6)(35.248) + (1 - 0.6)(29.5626) \\
 &= 32.9736 \\
 &\vdots \\
 W_{50} &= \lambda Y_{50} + (1 - \lambda)W_{49} \\
 &= (0.6)(23.066) + (1 - 0.6)(21.3318) \\
 &= 22.3721
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan batas kendali atas dan bawah

Perhitungan BKA dan BKB TEWMA dapat dilakukan setelah menghitung nilai variansi TEWMA terlebih dahulu melalui Persamaan (2.38) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{W_1}^2 &= \left[\frac{\theta^3 \lambda^6}{4} \left[- \left[\frac{j(j^2 - 1)(j - 2)\theta^{j-3}}{1 - \theta} \right] - 4 \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{(1 - \theta)^2} \right] \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 12 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^3} \right] - 24 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^4} \right] + 24 \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^5} \right] \right] \\
 &\quad + 2\theta^2 \lambda^6 \left[- \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{1 - \theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] \right. \\
 &\quad \left. + 6 \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^4} \right] \right] + \frac{7\theta \lambda^6}{2} \left[- \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)} \right] - \left[\frac{2(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \left[\frac{2(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^3} \right] \right] + \lambda^6 \left[\left[\left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^2} \right) - \left(\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)} \right) \right] \right] \sigma_{\bar{x}_j}^2 \\
 &= \left[\frac{((1 - \lambda)^2)^3 \lambda^6}{4} \left[- \left[\frac{j(j^2 - 1)(j - 2)((1 - \lambda)^2)^{j-3}}{1 - (1 - \lambda)^2} \right] \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 4 \left[\frac{j(j^2 - 1)((1 - \lambda)^2)^{j-2}}{(1 - (1 - \lambda)^2)^2} \right] - 12 \left[\frac{j(j + 1)((1 - \lambda)^2)^{j-1}}{(1 - (1 - \lambda)^2)^3} \right] \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - 24 \left[\frac{(j + 1)((1 - \lambda)^2)^j}{(1 - (1 - \lambda)^2)^4} \right] + 24 \left[\frac{1 - ((1 - \lambda)^2)^{j+1}}{(1 - (1 - \lambda)^2)^5} \right] \right] \right. \\
 &\quad \left. + 2((1 - \lambda)^2)^2 \lambda^6 \left[- \left[\frac{j(j^2 - 1)((1 - \lambda)^2)^{j-2}}{1 - (1 - \lambda)^2} \right] \right. \right.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -3 \left[\frac{j(j+1)((1-\lambda)^2)^{j-1}}{(1-(1-\lambda)^2)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j+1)((1-\lambda)^2)^j}{(1-(1-\lambda)^2)^3} \right] \\
 & + 6 \left[\frac{1 - ((1-\lambda)^2)^{j+1}}{(1-(1-\lambda)^2)^4} \right] + \frac{7((1-\lambda)^2)\lambda^6}{2} \\
 & \left[- \left[\frac{j(j+1)((1-\lambda)^2)^{j-1}}{(1-(1-\lambda)^2)} \right] - \left[\frac{2(j+1)((1-\lambda)^2)^j}{(1-(1-\lambda)^2)^2} \right] \right. \\
 & \left. + \left[\frac{2(1 - ((1-\lambda)^2)^{j+1})}{(1-(1-\lambda)^2)^3} \right] + \lambda^6 \left[\left[\frac{(1 - ((1-\lambda)^2)^{j+1})}{(1-(1-\lambda)^2)^2} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. - \left(\frac{(j+1)((1-\lambda)^2)^j}{(1-(1-\lambda)^2)} \right) \right] \right] \sigma_{X_j}^2 \\
 = & \left[\frac{((1-0.6)^2)^3(0.6)^6}{4} \left[- \left[\frac{1(1^2-1)(1-2)((1-0.6)^2)^{(1)-3}}{1-(1-0.6)^2} \right] \right. \right. \\
 & - 4 \left[\frac{1(1^2-1)((1-0.6)^2)^{(1)-2}}{(1-(1-0.6)^2)^2} \right] - 12 \left[\frac{1(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)-1}}{(1-(1-0.6)^2)^3} \right] \\
 & \left. - 24 \left[\frac{(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)}}{(1-(1-0.6)^2)^4} \right] + 24 \left[\frac{1 - ((1-0.6)^2)^{(1)+1}}{(1-(1-0.6)^2)^5} \right] \right] \\
 & + 2((1-0.6)^2)^2(0.6)^6 \left[- \left[\frac{1(1^2-1)((1-0.6)^2)^{(1)-2}}{1-(1-0.6)^2} \right] \right. \\
 & - 3 \left[\frac{1(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)-1}}{(1-(1-0.6)^2)^2} \right] - 6 \left[\frac{(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)}}{(1-(1-0.6)^2)^3} \right] \\
 & \left. + 6 \left[\frac{1 - ((1-0.6)^2)^{(1)+1}}{(1-(1-0.6)^2)^4} \right] + \frac{7((1-0.6)^2)(0.6)^6}{2} \right. \\
 & \left[- \left[\frac{1(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)-1}}{(1-(1-0.6)^2)} \right] - \left[\frac{2(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)}}{(1-(1-0.6)^2)^2} \right] \right. \\
 & \left. + \left[\frac{2(1 - ((1-0.6)^2)^{(1)+1})}{(1-(1-0.6)^2)^3} \right] + \lambda^6 \left[\left[\frac{(1 - ((1-0.6)^2)^{(1)+1})}{(1-(1-0.6)^2)^2} \right] \right. \right. \\
 & \left. \left. - \left(\frac{(1+1)((1-0.6)^2)^{(1)}}{(1-(1-0.6)^2)} \right) \right] \right] \sigma_{X_j}^2
 \end{aligned}$$

$$= 0.0466 \sigma_{X_j}^2$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

$$\sigma_{W_2}^2 = 0.1138 \sigma_{X_j}^2$$

$$\sigma_{W_3}^2 = 0.1568 \sigma_{X_j}^2$$

⋮

$$\sigma_{W_{50}}^2 = 0.1858 \sigma_{X_j}^2$$

BKA untuk peta kendali TEWMA melalui Persamaan (2.39) dengan nilai parameter $\lambda = 0.6$ diperoleh batas kendali sebagai berikut

$$\begin{aligned} BKA_{(1)} &= \mu_0 + L\sigma_{W_1} \\ &= \mu_0 + L\sqrt{\sigma_{W_1}^2} \\ &= \mu_0 + L\sqrt{0.0466 \sigma_{X_j}^2} \\ &= \mu_0 + L\sigma_{X_j}\sqrt{0.0466} \\ &= 28.34 + (3)(11.0261)\sqrt{0.0466} \\ &= 35.4849 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

$$BKA_{(2)} = 39.5008$$

$$BKA_{(3)} = 41.4400$$

⋮

$$BKA_{(50)} = 42.5989$$

Adapun BKB untuk peta kendali TEWMA melalui Persamaan (2.40) dengan nilai parameter $\lambda = 0.6$ diperoleh batas kendali sebagai berikut

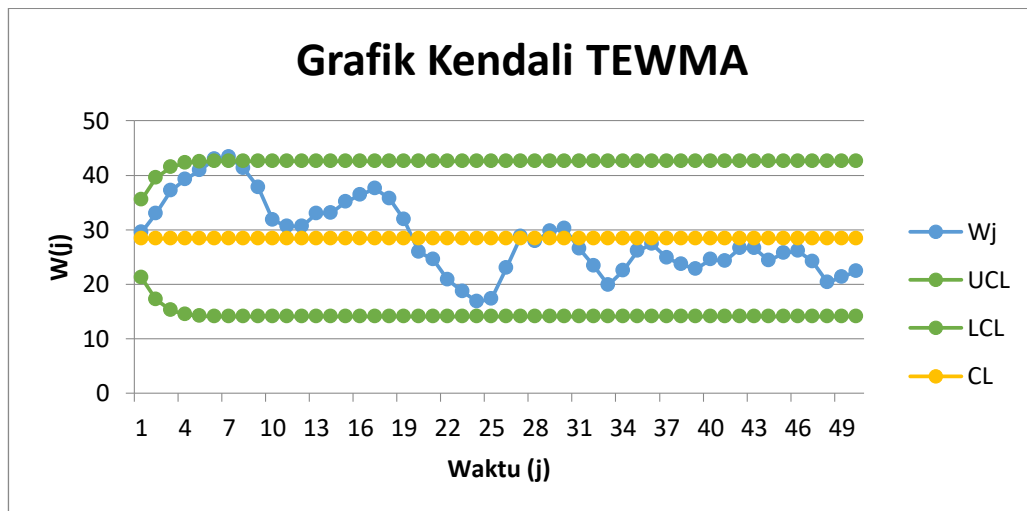
$$\begin{aligned} BKB_{(1)} &= \mu_0 - L\sigma_{W_1} \\ &= \mu_0 - L\sqrt{\sigma_{W_1}^2} \\ &= \mu_0 - L\sqrt{0.0466 \sigma_{X_j}^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \mu_0 - L \sigma_{X_j} \sqrt{0.0466} \\
 &= 28.34 - (3) (11.0261) \sqrt{0.0466} \\
 &= 21.1951
 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, maka akan diperoleh

$$\begin{aligned}
 BKB_{(2)} &= 17.1792 \\
 BKB_{(3)} &= 15.2400 \\
 &\vdots \\
 BKB_{(50)} &= 14.0811
 \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai statistik W_j , BKA dan BKB yang telah diperoleh maka didapatkan grafik kendali TEWMA dengan $\lambda = 0.6$ sebagai berikut

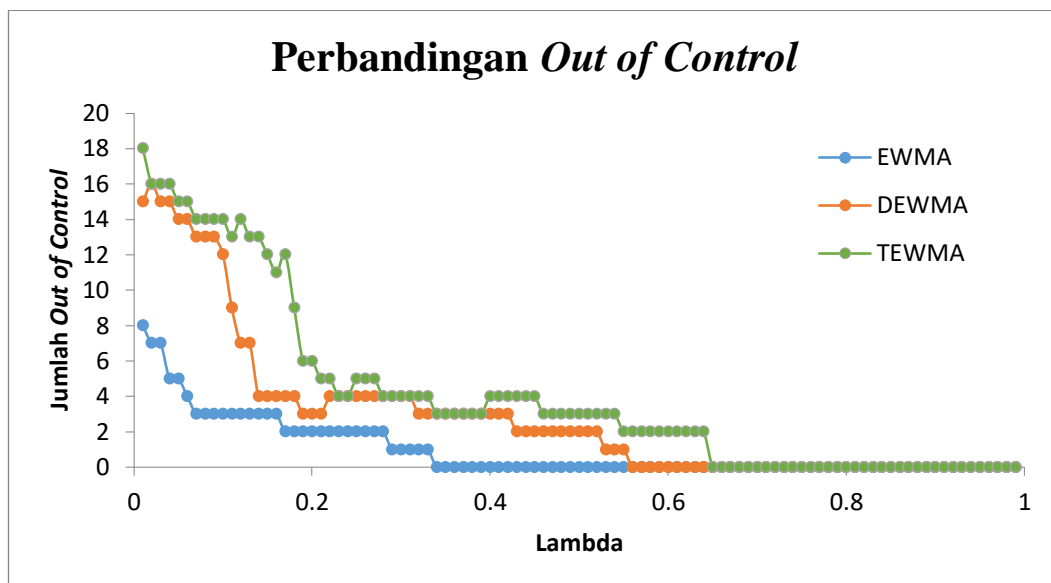


Gambar 4.4 Grafik Peta Kendali TEWMA untuk $\lambda = 0.6$

Berdasarkan peta kendali TEWMA di atas, terdapat *plot* data yang keluar dari batas kendali atas atau data yang *out of control* untuk plot data ke 6 dan 7 sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi dalam keadaan tidak terkendali dan perlu dilakukan evaluasi pengendalian kualitas lebih lanjut. Adapun nilai statistik W_j , BKA, BKB, dan GT untuk $\lambda = 0.6$ dapat dilihat selengkapnya di Lampiran 7.

4.2.5 Perbandingan *Out of Control*

Kinerja peta kendali salah satunya dapat ditinjau berdasarkan jumlah *Out of Control* yang dapat ditangkap oleh peta kendali tersebut. Semakin banyak jumlah *Out of Control* yang diperoleh maka semakin sensitif peta kendali tersebut dalam mendeteksi pergeseran kecil. Perbandingan jumlah *Out of Control* peta kendali EWMA, DEWMA, dan TEWMA diperlihatkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Perbandingan *Out of Control* Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA

Berdasarkan Gambar 4.6 diketahui bahwa peta kendali TEWMA cenderung menangkap sinyal *Out of Control* yang lebih banyak dibandingkan peta kendali EWMA maupun DEWMA. Adapun jumlah *Out of Control* tiap peta kendali dijelaskan lebih rinci di Lampiran 8.

4.2.6 Perhitungan ARL

Pengukuran kinerja dari peta kendali EWMA, DEWMA maupun TEWMA maka dapat dilakukan dengan menghitung serta membandingkan nilai ARL nya.

1. Penentuan ARL

ARL adalah rata-rata jumlah titik sampel yang harus diplot sebelum satu titik sampel menunjukkan keadaan tidak terkendali.

$$ARL = \frac{1}{1 - \beta} \quad (4.17)$$

dengan $\beta = Pr(\text{menerima } H_0 | H_0 \text{ salah})$

Hipotesis:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Jika $\mu \neq \mu_0$ maka dimisalkan $\mu = \mu_0 + k\sigma$

$$\begin{aligned} \beta &= Pr(BKB \leq X \leq BKA | \mu = \mu_0 + k\sigma) \\ &= Pr\left(\frac{BKB - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} \leq \frac{X - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} \leq \frac{BKA - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} \mid \mu = \mu_0 + k\sigma\right) \\ &= Pr\left(\frac{BKB - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} \leq Z \leq \frac{BKA - E(X)}{\sqrt{Var(X)}} \mid \mu = \mu_0 + k\sigma\right) \end{aligned} \quad (4.18)$$

Z adalah distribusi normal standar atau $X \sim N(0,1)$, $E(X) = \mu$, $Var(X) = \sigma_x^2$. Maka:

$$\begin{aligned} \beta &= Pr\left(\frac{BKB - \mu}{\sqrt{\sigma_x^2}} \leq Z \leq \frac{BKA - \mu}{\sqrt{\sigma_x^2}} \mid \mu = \mu_0 + k\sigma_x\right) \\ &= Pr\left(\frac{BKB - (\mu_0 + k\sigma_x)}{\sqrt{\sigma_x^2}} \leq Z \leq \frac{BKA - (\mu_0 + k\sigma_x)}{\sqrt{\sigma_x^2}}\right) \\ &= Pr\left(\frac{BKB - \mu_0 - k\sigma_x}{\sqrt{\sigma_x^2}} \leq Z \leq \frac{BKA - \mu_0 - k\sigma_x}{\sqrt{\sigma_x^2}}\right) \\ &= Pr\left(Z \leq \frac{BKA - \mu_0 - k\sigma_x}{\sqrt{\sigma_x^2}}\right) - Pr\left(Z \leq \frac{BKB - \mu_0 - k\sigma_x}{\sqrt{\sigma_x^2}}\right) \end{aligned} \quad (4.19)$$

Sehingga untuk diagram peta kendali EWMA dengan mean dan variansi sebagai berikut

$$E(Z_j) = Z_0$$

$$Var(Z_j) = \frac{\sigma_{x_j}^2 \lambda}{2 - \lambda} \quad (4.20)$$

Maka:

$$\beta = Pr\left(\frac{BKB - E(Z_j)}{Var(Z_j)} \leq Z \leq \frac{BKA - E(Z_j)}{Var(Z_j)} \mid Z_0 = Z_0 + k\sigma_{x_j}\right)$$

$$\begin{aligned}
 &= Pr \left(Z \leq \frac{\left(Z_0 + L \sqrt{\frac{\sigma_{X_j}^2 \lambda}{2 - \lambda}} \right) - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sqrt{\frac{\sigma_{X_j}^2 \lambda}{2 - \lambda}}} \right) - Pr \left(Z \leq \frac{\left(Z_0 - L \sqrt{\frac{\sigma_{X_j}^2 \lambda}{2 - \lambda}} \right) - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sqrt{\frac{\sigma_{X_j}^2 \lambda}{2 - \lambda}}} \right) \\
 &= Pr \left(Z \leq \frac{BKA_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}} \right) - Pr \left(Z \leq \frac{BKB_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}} \right) \quad (4.21)
 \end{aligned}$$

Substitusikan Persamaan (4.21) ke Persamaan (4.17) maka didapatkan ARL EWMA sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 ARL &= \frac{1}{1 - \beta} \\
 &= \frac{1}{1 - \left[Pr \left(Z \leq \frac{BKA_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}} \right) - Pr \left(Z \leq \frac{BKB_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}} \right) \right]} \quad (4.22)
 \end{aligned}$$

Melalui penguraian yang sama, maka akan diperoleh ARL DEWMA pada Persamaan (4.23) dan ARL TEWMA pada Persamaan (4.24) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 ARL &= \frac{1}{1 - \beta} \\
 &= \frac{1}{1 - \left[Pr \left(Z \leq \frac{BKA_{DEWMA} - Y_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{DEWMA}} \right) - Pr \left(Z \leq \frac{BKB_{DEWMA} - Y_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{DEWMA}} \right) \right]} \quad (4.23)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ARL &= \frac{1}{1 - \beta} \\
 &= \frac{1}{1 - \left[Pr \left(Z \leq \frac{BKA_{TEWMA} - W_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{TEWMA}} \right) - Pr \left(Z \leq \frac{BKB_{TEWMA} - W_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{TEWMA}} \right) \right]} \quad (4.24)
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan ARL EWMA

Perhitungan ARL dapat dilakukan setelah menghitung BKA melalui Persamaan (2.14), BKB melalui Persamaan (2.15) dan standar deviasi konstan melalui Persamaan (2.13) dari peta kendali EWMA terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
 BKA_{EWMA} &= Z_0 + L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \\
 &= 28.34 + (3)(11.0261) \sqrt{\frac{0.6}{2 - 0.6}} \\
 &= 49.9949
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
BKB_{EWMA} &= Z_0 - L\sigma_{X_j} \sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}} \\
&= 28.34 - (3)(11.0261) \sqrt{\frac{0.6}{2-0.6}} \\
&= 6.6851 \\
\sigma_{EWMA} &= \sqrt{\frac{\sigma_{X_j}^2 \lambda}{2-\lambda}} \\
&= \sqrt{\frac{(11.0261)^2 (0.6)}{2-0.6}} \\
&= 7.2183
\end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan (4.22) maka selanjutnya dapat ditentukan besar ARL peta kendali EWMA untuk $k = 0.05$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\beta &= Pr\left(Z \leq \frac{BKA_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}}\right) - Pr\left(Z \leq \frac{BKB_{EWMA} - Z_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{EWMA}}\right) \\
&= Pr\left(Z \leq \frac{49.9949 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{7.2183}\right) \\
&\quad - Pr\left(Z \leq \frac{6.6851 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{7.2183}\right) \\
&= Pr(Z \leq 2.92362) - Pr(Z \leq -3.07638) \\
&= 0.998270087 - 0.00104767 \\
&= 0.9972
\end{aligned}$$

sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
ARL &= \frac{1}{1-\beta} \\
&= \frac{1}{1-0.9972} \\
&= 360.0257
\end{aligned}$$

Adapun nilai ARL untuk nilai k lainnya akan dijabarkan lebih lanjut di Lampiran 9 hingga Lampiran 14.

3. Perhitungan ARL DEWMA

Perhitungan ARL dapat dilakukan setelah menghitung BKA melalui Persamaan (2.29), BKB melalui Persamaan (2.30) dan standar deviasi konstan melalui Persamaan (2.28) dari peta kendali DEWMA terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
 BKA_{DEWMA} &= \mu_0 + L \sqrt{\lambda \frac{(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \sigma_{X_j}^2} \\
 &= 28.34 + (3) \sqrt{(0.6) \frac{(0.6)^2 - 2(0.6) + 2}{(2 - 0.6)^3} (11.0261)^2} \\
 &= 44.9993
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BKB_{DEWMA} &= \mu_0 - L \sqrt{\lambda \frac{(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \sigma_{X_j}^2} \\
 &= 28.34 - (3) \sqrt{(0.6) \frac{(0.6)^2 - 2(0.6) + 2}{(2 - 0.6)^3} (11.0261)^2} \\
 &= 11.6806
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{DEWMA} &= \sqrt{\lambda \frac{(\lambda^2 - 2\lambda + 2)}{(2 - \lambda)^3} \sigma_{X_j}^2} \\
 &= \sqrt{(0.6) \frac{(0.6)^2 - 2(0.6) + 2}{(2 - 0.6)^3} (11.0261)^2} \\
 &= 5.5531
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan (4.23) maka selanjutnya dapat ditentukan besar ARL peta kendali DEWMA untuk $k = 0.05$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \beta &= Pr\left(Z \leq \frac{BKA_{DEWMA} - Y_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{DEWMA}}\right) - Pr\left(Z \leq \frac{BKB_{DEWMA} - Y_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{DEWMA}}\right) \\
 &= Pr\left(Z \leq \frac{44.9993 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{5.5531}\right) \\
 &\quad - Pr\left(Z \leq \frac{11.6806 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{5.5531}\right) \\
 &= Pr(Z \leq 2.9007210) - Pr(Z \leq -3.09927901) \\
 &= 0.99813847 - 0.000969961 \\
 &= 0.9971
 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
 ARL &= \frac{1}{1 - \beta} \\
 &= \frac{1}{1 - 0.9971} \\
 &= 353.1713
 \end{aligned}$$

Adapun nilai ARL untuk nilai k lainnya akan dijabarkan lebih lanjut di Lampiran 9 hingga Lampiran 14.

4. Perhitungan ARL TEWMA

Perhitungan ARL dapat dilakukan setelah menghitung BKA melalui Persamaan (2.42), BKB melalui Persamaan (2.43) dan standar deviasi konstan melalui Persamaan (2.41) dari peta kendali TEWMA terlebih dahulu.

$$\begin{aligned} BKA_{TEWMA} &= \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}} \\ &= 28.34 + (3)(11.0261) \times \\ &\quad \sqrt{\frac{6(1-0.6)^6(0.6)}{(2-0.6)^5} + \frac{12(1-0.6)^4(0.6)^2}{(2-0.6)^4} + \frac{7(1-0.6)^2(0.6)^3}{(2-0.6)^3} + \frac{(0.6)^4}{(2-0.6)^2}} \\ &= 42.5989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BKB_{TEWMA} &= \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}} \\ &= 28.34 - (3)(11.0261) \times \\ &\quad \sqrt{\frac{6(1-0.6)^6(0.6)}{(2-0.6)^5} + \frac{12(1-0.6)^4(0.6)^2}{(2-0.6)^4} + \frac{7(1-0.6)^2(0.6)^3}{(2-0.6)^3} + \frac{(0.6)^4}{(2-0.6)^2}} \\ &= 14.0811 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{TEWMA} &= \sqrt{\left[\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2} \right] (\sigma^2)} \\ &= \sqrt{\frac{6(1-0.6)^6(0.6)}{(2-0.6)^5} + \frac{12(1-0.6)^4(0.6)^2}{(2-0.6)^4} + \frac{7(1-0.6)^2(0.6)^3}{(2-0.6)^3} + \frac{(0.6)^4}{(2-0.6)^2}} \\ &\quad \times \sqrt{(11.0261)^2} \\ &= 4.7529 \end{aligned}$$

Berdasarkan Persamaan (4.24) maka selanjutnya dapat ditentukan besar ARL peta kendali TEWMA untuk $k = 0.05$ sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \beta &= Pr\left(Z \leq \frac{BKA_{TEWMA} - W_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{TEWMA}}\right) - Pr\left(Z \leq \frac{BKB_{TEWMA} - W_0 - k\sigma_{X_j}}{\sigma_{TEWMA}}\right) \\ &= Pr\left(Z \leq \frac{42.5989 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{4.7529}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -Pr\left(Z \leq \frac{14.0811 - 28.34 - (0.05)(11.0261)}{4.7529}\right) \\
& = Pr(Z \leq 2.884007713) - Pr(Z \leq -3.1159923) \\
& = 0.99804 - 0.00091664 \\
& = 0.9971
\end{aligned}$$

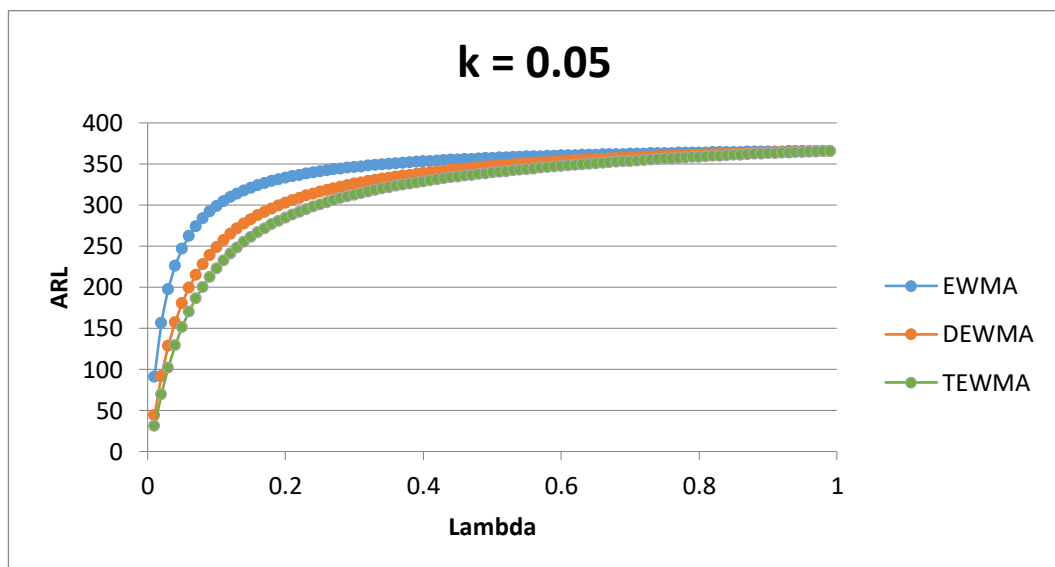
sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
ARL & = \frac{1}{1 - \beta} \\
& = \frac{1}{1 - 0.9971} \\
& = 347.2366
\end{aligned}$$

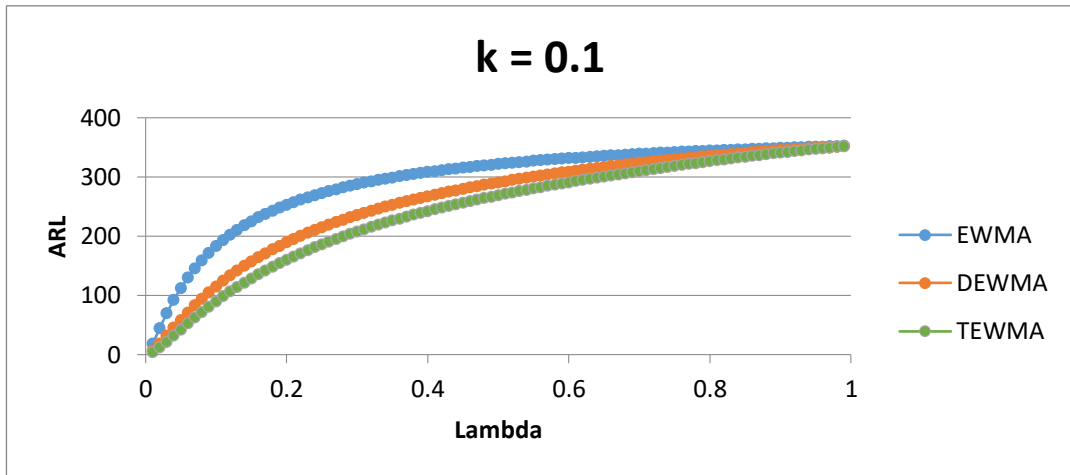
Adapun nilai ARL untuk nilai k lainnya akan dijabarkan lebih lanjut di Lampiran 9 hingga Lampiran 14.

5. Perbandingan ARL EWMA, DEWMA dan TEWMA

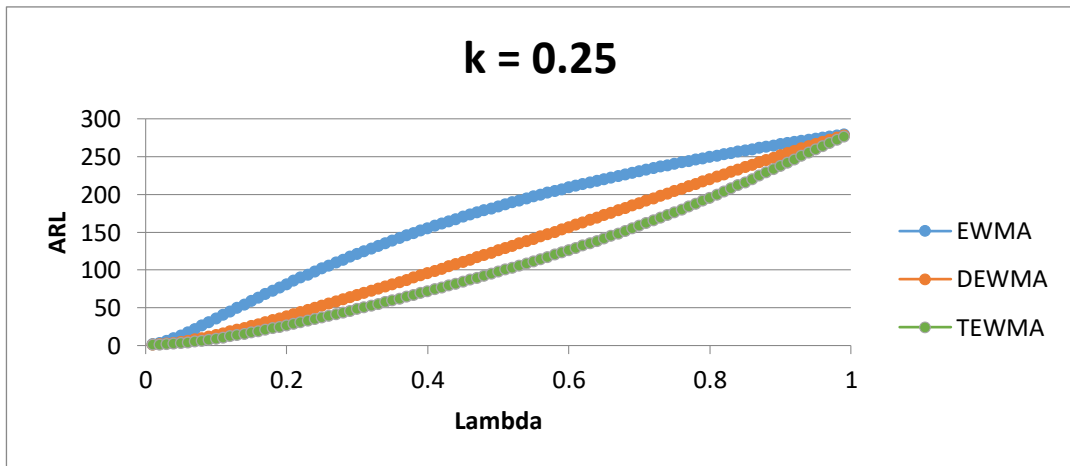
Perbandingan performa peta kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA dapat ditinjau berdasarkan nilai ARL nya. Semakin kecil nilai ARL maka semakin efektif peta kendali tersebut dalam mendeteksi pergeseran kecil. Pergeseran rata-rata (k) yang ditampilkan adalah 0.05, 0.1, 0.25 dan 0.5. Adapun perbandingan nilai ARL untuk pergeseran lainnya dijabarkan pada Lampiran 11 hingga Lampiran 14.



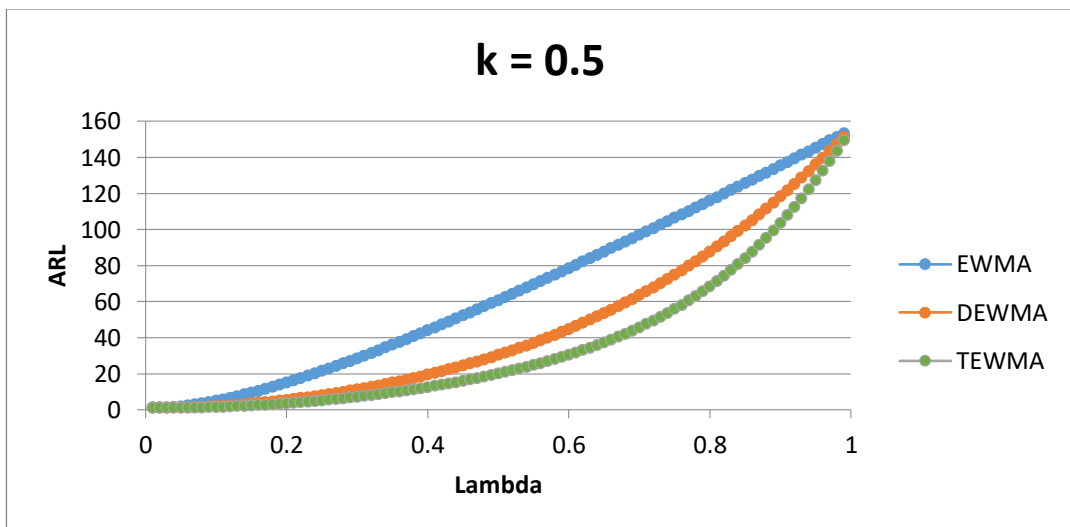
Gambar 4.6 Perbandingan ARL untuk $k = 0.05$



Gambar 4.7 Perbandingan ARL untuk $k = 0.1$



Gambar 4.8 Perbandingan ARL untuk $k = 0.25$



Gambar 4.9 Perbandingan ARL untuk $k = 0.5$

Keempat grafik pada Gambar (4.6), (4.7), (4.8), dan (4.9) menunjukkan bahwa nilai ARL TEWMA selalu lebih kecil dibandingkan ARL EWMA dan ARL DEWMA sehingga dapat disimpulkan bahwa peta kendali TEWMA jauh lebih efektif dalam mendeteksi adanya pergeseran rata-rata kecil pada data cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food dibandingkan peta kendali EWMA maupun peta kendali DEWMA.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang diperoleh maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan peta kendali TEWMA dapat dilakukan dengan menggunakan nilai statistik W_j untuk melihat *plot* pergeseran rata-rata yang dinyatakan sebagai berikut.

$$W_j = \lambda Y_j + (1 - \lambda)W_{j-1}$$

Adapun batas kendali TEWMA untuk data cacat produksi *nugget* UD. Masagena Frozen Food digunakan untuk menentukan *plot* data yang dianggap *out of control* dan perlu dilakukan evaluasi pengendalian kualitas. Batas kendali atas dan bawah TEWMA dapat dirumuskan sebagai berikut

$$BKA = 28.34 + (3)(11.0261) \times \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}}$$

$$BKB = 28.34 - (3)(11.0261) \times \sqrt{\frac{6(1-\lambda)^6\lambda}{(2-\lambda)^5} + \frac{12(1-\lambda)^4\lambda^2}{(2-\lambda)^4} + \frac{7(1-\lambda)^2\lambda^3}{(2-\lambda)^3} + \frac{\lambda^4}{(2-\lambda)^2}}$$

dengan ketentuan nilai λ antara 0.01 hingga 0.99.

2. Kinerja peta kendali TEWMA lebih baik dibandingkan peta kendali EWMA dan DEWMA dalam mendeteksi pergeseran rata-rata kecil karena mampu menangkap jumlah data *out of control* yang lebih banyak yang mengindikasikan bahwa peta kendali TEWMA lebih sensitif terhadap pergeseran proses. Hal ini juga didukung oleh nilai ARL TEWMA yang lebih kecil sepanjang $0.01 \leq \lambda \leq 0.99$ yang menunjukkan bahwa peta kendali TEWMA lebih efektif dalam mendeteksi pergeseran kecil dibandingkan peta kendali EWMA maupun DEWMA.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari kombinasi nilai parameter peta kendali yang mampu menghasilkan nilai ARL yang paling kecil misalnya dengan desain Box-Behnken maupun metode-metode lainnya yang mampu mengoptimalkan nilai ARL peta kendali.

DAFTAR PUSTAKA

- Abreu, R.P. & Schaffer, J.R. (2017). A Double EWMA Control Chart for The Individuals Based On A Linear Prediction. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 16(2), 443-457.
- Adji, M.H.S., Soehardjoepri, & Widjajati, F.A. (2019). Analisis Proses Produksi Wheeldops PT. Morodadi Prima Dengan Data Tidak Normal Menggunakan Peta Kendali Exponentially Weighted Moving Average dan Double Exponentially Weighted Moving Average (DEWMA). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(1), A32-A37.
- Alevizakos, V., Chatterjee, K., & Koukouvinos, C. (2020). The Triple Exponentially Weighted Moving Average Control Chart. *Quality Technology & Quantitative Management*, 18(3), 326-354.
- Blevins, N. B., Segall, R. S., & Choppari, S. (2019). Assessing Water Quality Characteristics of pH and Biochemical Oxygen Demand (CBOD) of Public Utility Using Statistical Quality Control (SQC). *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 17(3), 62-70.
- Febrina, W., & Fitriana, W. (2022). Exponential Weight Moving Average (EWMA) Control Chart for Quality Control of Crude Palm Oil Product. *International Journal of Management and Business Applied*, 1(1), 19-27.
- Gupta, M. M. (2021). Performance Analysis of ARL of Statistical Control Charts for Standard and Modified EWMA. *Matrix Science Mathematic (MSMK)*, 5(2), 42-45.
- Hakam, M. (2017). Perbandingan Grafik Kendali Cusum (Cumulative Sum) dan EWMA (Exponentially Weighted Moving Average) Dalam Pengendalian Kualitas Produksi Pipa Besi Pada PT. Pacific Angkasa Abadi. *Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Hamsah, L., Purnamasari, I., & Satriya, A.M.A. (2019). Penerapan Peta Kendali Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) dan Peta Kendali Double Exponentially Weighted Moving Average (DEWMA) dalam

- Pengendalian Kualitas Produksi Mie Pada UD. Sinar Sulawesi. *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika, dan Aplikasinya*, 222-230.
- Karoon, K., Areepong, Y., & Sukparungsee, S. (2021). Numerical Integral Equation Methods of Average Run Length on Extended EWMA Control Chart for Autoregressive Process. *In Proc. of Int. Conf. on Applied and Engineering Mathematics*, 51-56.
- Khamid, N., Herdiani, E.T., Sirajang, N. (2018). Optimalisasi Average Run Length (ARL) Grafik Kendali EWMA dengan Desain Box-Behnken. *Universitas Hasanuddin: Fakultas MIPA*, 1-11.
- Mohammadipour, P., Farughi, H., Rasay, H., & Arkat, J. (2021). Designing Exponentially Weighted Moving Average Control Charts Under Failure Censoring Reliability Tests. *International Journal of Engineering*, 34(11), 2398-2407.
- Montgomery, D.C. (2009). Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition. *Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc.*
- Nurhaedah, A., Aidid, M. K., & Sudarmin, S. (2020). Membandingkan Grafik Kendali Shewhart dengan Grafik Kendali Cumulative Sum (Cusum) dalam Mendeteksi Pergeseran Rata-Rata Keketukan Air. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its application on Teaching and Research*, 2(3), 122-127.
- Quraisy, A. (2020). Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk (Studi Kasus Penghasilan Orang Tua Mahasiswa Prodi Pendidikan Matematika Unismuh Makassar). *J-HEST : Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology*, 3(1), 7-11.
- Roberts, S.W. (1959). Control Charts Test Based on Geometric Moving Average. *Technometrics*, 1(3), 239-250.
- Saghir, A., Aslam, M., Faraz, A., Ahmad, L., & Heuchenne, C. (2020). Monitoring Process Variation Using Modified EWMA. *Quality and Reliability Engineering International*, 36(1), 328-339.
- Shamma, S.E. & Shamma, A.K. (1992). Development and Evaluation of Control Charts Using Double Exponentially Weighted Moving Averages. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 9(6), 18-25.

Widjajati, F.A., Aksioma, D.F., & Chotimah, C. (2017). Analisis Peta Kendali DEWMA (Double Exponentially Weighted Moving Average) dalam Pengendalian Kualitas Produksi FJLB (Finger Joint Laminating Board) Pada PT. Inhutani 1 Gresik. *Seminar Nasional Matematika dan Aplikasinya. Universitas Airlangga, Surabaya.*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Penurunan Rumus Identitas Rata-rata Peta Kendali TEWMA

$$\begin{aligned}
\sum_{l=1}^j l\theta^{l-1} &= \frac{d}{d\theta} \left(\sum_{l=1}^j \theta^l \right) \\
&= \frac{d}{d\theta} \left(\sum_{l=0}^j \theta^l - 1 \right) \\
&= \frac{d}{d\theta} \left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{1 - \theta} - 1 \right) \\
&= \left[\frac{-(1 - \theta)(j + 1)\theta^j + (1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^2} \right] \\
&= \left[\left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^2} \right) - \left(\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)} \right) \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{l=1}^j l(l-1)\theta^{l-2} &= \sum_{l=2}^j l(l-1)\theta^{l-2} \\
&= \frac{d^2}{d\theta^2} \left(\sum_{l=2}^j \theta^l \right) \\
&= \frac{d^2}{d\theta^2} \left(\sum_{l=0}^j \theta^l - \theta - 1 \right) \\
&= \frac{d^2}{d\theta^2} \left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{1 - \theta} - \theta - 1 \right) \\
&= \frac{d}{d\theta} \left[\left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^2} \right) - \left(\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)} \right) - 1 - 0 \right] \\
&= \frac{d}{d\theta} \left(\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^2} \right) - \frac{d}{d\theta} \left(\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)} \right) - \frac{d}{d\theta} (1) \\
&= \left[\frac{-(1 - \theta)^2(j + 1)\theta^j + 2(1 - \theta)(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^4} \right] \\
&\quad - \left[\frac{(1 - \theta)j(j + 1)\theta^{j-1} + (j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right]
\end{aligned}$$

Lampiran 1. Penurunan Rumus Identitas Rata-rata Peta Kendali TEWMA (Lanjutan)

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{2(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^3} \right] - \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] - \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)} \right] - \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] \\
 &= - \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)} \right] - \left[\frac{2(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] + \left[\frac{2(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^3} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2)\theta^{l-3} &= \sum_{l=3}^j l(l-1)(l-2)\theta^{l-3} \\
 &= \frac{d^3}{d\theta^3} \left(\sum_{l=3}^j \theta^l \right) \\
 &= \frac{d^3}{d\theta^3} \left[\sum_{l=0}^j \theta^l - \theta - \theta^2 \right] \\
 &= \frac{d^3}{d\theta^3} \left[\sum_{l=0}^j \theta^l \right] - \frac{d^3}{d\theta^3} [\theta] - \frac{d^3}{d\theta^3} [\theta^2] \\
 &= \frac{d^3}{d\theta^3} \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{1 - \theta} \right] - 0 - 0 \\
 &= \frac{d}{d\theta} \left[\frac{d^2}{d\theta^2} \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{1 - \theta} \right] \right] \\
 &= \frac{d}{d\theta} \left[- \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)} \right] - \left[\frac{2(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] + \left[\frac{2(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^3} \right] \right] \\
 &= - \frac{d}{d\theta} \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)} \right] - \frac{d}{d\theta} \left[\frac{2(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^2} \right] \\
 &\quad + \frac{d}{d\theta} \left[\frac{2(1 - \theta^{j+1})}{(1 - \theta)^3} \right] \\
 &= - \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{1 - \theta} \right] - \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] - 2 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] \\
 &\quad - 4 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] - 2 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] + 6 \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^4} \right]
 \end{aligned}$$

Lampiran 1. Penurunan Rumus Identitas Rata-rata Peta Kendali TEWMA (Lanjutan)

$$= - \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{1 - \theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] + 6 \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^4} \right]$$

$$\begin{aligned} \sum_{l=1}^j l(l-1)(l-2)(l-3)\theta^{l-4} &= \sum_{l=4}^j l(l-1)(l-2)(l-3)\theta^{l-4} \\ &= \frac{d^4}{d\theta^4} \sum_{l=4}^j \theta^l \\ &= \frac{d^4}{d\theta^4} \left[\sum_{l=0}^j \theta^l - \theta - \theta^2 - \theta^3 \right] \\ &= \frac{d^4}{d\theta^4} \left[\sum_{l=0}^j \theta^l \right] + \frac{d^4}{d\theta^4} [-\theta - \theta^2 - \theta^3] \\ &= \frac{d}{d\theta} \left[\frac{d^3}{d\theta^3} \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{1 - \theta} \right] \right] + 0 \\ &= \frac{d}{d\theta} \left[- \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{1 - \theta} \right] - 3 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] + 6 \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^4} \right] \right] \\ &= - \frac{d}{d\theta} \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{1 - \theta} \right] - 3 \frac{d}{d\theta} \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^2} \right] - 6 \frac{d}{d\theta} \left[\frac{(j + 1)\theta^j}{(1 - \theta)^3} \right] + 6 \frac{d}{d\theta} \left[\frac{1 - \theta^{j+1}}{(1 - \theta)^4} \right] \\ &= - \left[\frac{j(j^2 - 1)(j - 2)\theta^{j-3}}{1 - \theta} \right] - \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{(1 - \theta)^2} \right] - 3 \left[\frac{j(j^2 - 1)\theta^{j-2}}{(1 - \theta)^2} \right] - 6 \left[\frac{j(j + 1)\theta^{j-1}}{(1 - \theta)^3} \right] \end{aligned}$$

Lampiran 1. Penurunan Rumus Identitas Rata-rata Peta Kendali TEWMA (Lanjutan)

$$\begin{aligned}
& -6 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^3} \right] - 18 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] \\
& -6 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] + 24 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^5} \right] \\
= & - \left[\frac{j(j^2-1)(j-2)\theta^{j-3}}{1-\theta} \right] - 4 \left[\frac{j(j^2-1)\theta^{j-2}}{(1-\theta)^2} \right] \\
& -12 \left[\frac{j(j+1)\theta^{j-1}}{(1-\theta)^3} \right] - 24 \left[\frac{(j+1)\theta^j}{(1-\theta)^4} \right] \\
& +24 \left[\frac{1-\theta^{j+1}}{(1-\theta)^5} \right]
\end{aligned}$$

Lampiran 2. Data Cacat Produksi *Nugget* UD. Masagena Frozen Food

Waktu (j)	Bagian Jenis Cacat			Jumlah Cacat (X_j)
	Patah dan Menempel	Adonan Lembek	Kesalahan Pengemasan	
1	6	13	15	34
2	7	15	21	43
3	4	24	18	46
4	2	22	16	40
5	8	20	16	44
6	5	25	18	48
7	14	12	15	41
8	8	14	12	34
9	13	16	0	29
10	4	12	0	16
11	9	18	10	37
12	8	9	14	31
13	9	14	18	41
14	4	11	14	29
15	4	18	21	43
16	3	15	19	37
17	7	20	13	40
18	6	8	13	27
19	0	12	10	22
20	11	0	0	11
21	15	0	15	30
22	8	0	0	8
23	0	0	18	18
24	3	10	0	13
25	0	10	12	22
26	4	22	16	42
27	5	15	19	39
28	5	10	0	15
29	6	12	22	40
30	4	10	14	28
31	0	13	0	13
32	4	15	0	19
33	2	10	0	12
34	4	18	16	38
35	3	11	19	33
36	2	11	13	26
37	5	9	0	14
38	0	11	14	25
39	5	16	0	21

Lampiran 2. Data Cacat Produksi *Nugget* UD. Masagena Frozen Food
(Lanjutan)

Waktu (j)	Bagian Jenis Cacat			Jumlah Cacat (X_j)
	Patah dan Menempel	Adonan Lembek	Kesalahan Pengemasan	
40	7	13	12	32
41	9	11	0	20
42	15	0	21	36
43	6	16	0	22
44	3	14	0	17
45	4	18	13	35
46	11	13	0	24
47	6	11	0	17
48	10	0	0	10
49	6	9	17	32
50	2	8	13	23

Lampiran 3. Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Cacat Produksi *Nugget*

UD. Masagena Frozen Food

Data	Frekuensi	Frekuensi Kumulatif (f_{kum})	$f_s(X_i)$	$(X_i - \bar{X})/s$	$f_0(X_i)$	$f_s(X_i) - f_0(X_i)$	$ f_s(X_i) - f_0(X_i) $
8	1	1	0.02	-1.8447	0.0325	-0.0125	0.0125
10	1	2	0.04	-1.6633	0.0481	-0.0081	0.0081
11	1	3	0.06	-1.5726	0.0579	0.0021	0.0021
12	1	4	0.08	-1.4819	0.0692	0.0108	0.0108
13	2	6	0.12	-1.3912	0.0821	0.0379	0.0379
14	1	7	0.14	-1.3005	0.0967	0.0433	0.0433
15	1	8	0.16	-1.2099	0.1132	0.0468	0.0468
16	1	9	0.18	-1.1192	0.1315	0.0485	0.0485
17	2	11	0.22	-1.0285	0.1519	0.0681	0.0681
18	1	12	0.24	-0.9378	0.1742	0.0658	0.0658
19	1	13	0.26	-0.8471	0.1985	0.0615	0.0615
20	1	14	0.28	-0.7564	0.2247	0.0553	0.0553
21	1	15	0.3	-0.6657	0.2528	0.0472	0.0472
22	3	18	0.36	-0.5750	0.2826	0.0774	0.0774
23	1	19	0.38	-0.4843	0.3141	0.0659	0.0659
24	1	20	0.4	-0.3936	0.3469	0.0531	0.0531
25	1	21	0.42	-0.3029	0.3810	0.0390	0.0390
26	1	22	0.44	-0.2122	0.4160	0.0240	0.0240
27	1	23	0.46	-0.1215	0.4516	0.0084	0.0084
28	1	24	0.48	-0.0308	0.4877	-0.0077	0.0077
29	2	26	0.52	0.0599	0.5239	-0.0039	0.0039
30	1	27	0.54	0.1506	0.5598	-0.0198	0.0198
31	1	28	0.56	0.2412	0.5953	-0.0353	0.0353
32	2	30	0.6	0.3319	0.6300	-0.0300	0.0300
33	1	31	0.62	0.4226	0.6637	-0.0437	0.0437
34	2	33	0.66	0.5133	0.6961	-0.0361	0.0361
35	1	34	0.68	0.6040	0.7271	-0.0471	0.0471
36	1	35	0.7	0.6947	0.7564	-0.0564	0.0564
37	2	37	0.74	0.7854	0.7839	-0.0439	0.0439
38	1	38	0.76	0.8761	0.8095	-0.0495	0.0495
39	1	39	0.78	0.9668	0.8332	-0.0532	0.0532
40	3	42	0.84	1.0575	0.8549	-0.0149	0.0149
41	2	44	0.88	1.1482	0.8746	0.0054	0.0054
42	1	45	0.9	1.2389	0.8923	0.0077	0.0077
43	2	47	0.94	1.3296	0.9082	0.0318	0.0318
44	1	48	0.96	1.4203	0.9222	0.0378	0.0378
46	1	49	0.98	1.6016	0.9454	0.0346	0.0346
48	1	50	1	1.7830	0.9627	0.0373	0.0373

Lampiran 4. Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.785	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.447	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.359	0.410	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.486
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.250	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
21	0.226	0.259	0.287	0.321	0.344
22	0.221	0.253	0.281	0.314	0.337
23	0.216	0.247	0.275	0.307	0.330
24	0.212	0.242	0.269	0.301	0.323
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
26	0.204	0.233	0.259	0.290	0.311
27	0.200	0.229	0.254	0.284	0.305
28	0.197	0.225	0.250	0.279	0.300
29	0.193	0.221	0.246	0.275	0.295
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290
35	0.177	0.202	0.224	0.251	0.269
40	0.165	0.189	0.210	0.235	0.252
45	0.156	0.179	0.198	0.222	0.238
50	0.148	0.170	0.188	0.211	0.226
55	0.142	0.162	0.180	0.201	0.216
60	0.136	0.155	0.172	0.193	0.207
65	0.131	0.149	0.166	0.185	0.199
70	0.126	0.144	0.160	0.179	0.192
75	0.122	0.139	0.154	0.173	0.185
80	0.118	0.135	0.150	0.167	0.179

Lampiran 5. Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0.6$

No	Jumlah Cacat	Z_j	BKA	BKB	GT	Status
1	34	31.7360	48.1871	8.4929	28.3400	Terkendali
2	43	38.4944	49.7159	6.9641	28.3400	Terkendali
3	46	42.9978	49.9505	6.7295	28.3400	Terkendali
4	40	41.1991	49.9878	6.6922	28.3400	Terkendali
5	44	42.8796	49.9938	6.6862	28.3400	Terkendali
6	48	45.9519	49.9947	6.6853	28.3400	Terkendali
7	41	42.9807	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
8	34	37.5923	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
9	29	32.4369	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
10	16	22.5748	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
11	37	31.2299	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
12	31	31.0920	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
13	41	37.0368	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
14	29	32.2147	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
15	43	38.6859	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
16	37	37.6744	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
17	40	39.0697	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
18	27	31.8279	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
19	22	25.9312	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
20	11	16.9725	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
21	30	24.7890	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
22	8	14.7156	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
23	18	16.6862	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
24	13	14.4745	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
25	22	18.9898	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
26	42	32.7959	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
27	39	36.5184	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
28	15	23.6073	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
29	40	33.4429	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
30	28	30.1772	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
31	13	19.8709	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
32	19	19.3483	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
33	12	14.9393	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
34	38	28.7757	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
35	33	31.3103	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
36	26	28.1241	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
37	14	19.6496	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
38	25	22.8599	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
39	21	21.7439	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
40	32	27.8976	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali

Lampiran 5. Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0.6$ (Lanjutan)

No	Jumlah Cacat	Z_j	BKA	BKB	GT	Status
41	20	23.1590	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
42	36	30.8636	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
43	22	25.5454	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
44	17	20.4182	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
45	35	29.1673	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
46	24	26.0669	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
47	17	20.6268	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
48	10	14.2507	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
49	32	24.9003	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali
50	23	23.7601	49.9949	6.6851	28.3400	Terkendali

Lampiran 6. Peta Kendali DEWMA untuk $\lambda = 0.6$

No	Jumlah Cacat	Y_j	BKA	BKB	GT	Status
1	34	30.3776	40.2482	16.4318	28.3400	Terkendali
2	43	35.2477	43.5900	13.0900	28.3400	Terkendali
3	46	39.8977	44.6260	12.0540	28.3400	Terkendali
4	40	40.6786	44.9089	11.7711	28.3400	Terkendali
5	44	41.9992	44.9788	11.7012	28.3400	Terkendali
6	48	44.3708	44.9949	11.6851	28.3400	Terkendali
7	41	43.5368	44.9984	11.6816	28.3400	Terkendali
8	34	39.9701	44.9991	11.6809	28.3400	Terkendali
9	29	35.4502	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
10	16	27.7249	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
11	37	29.8279	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
12	31	30.5863	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
13	41	34.4566	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
14	29	33.1115	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
15	43	36.4561	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
16	37	37.1871	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
17	40	38.3167	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
18	27	34.4234	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
19	22	29.3281	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
20	11	21.9147	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
21	30	23.6393	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
22	8	18.2851	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
23	18	17.3258	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
24	13	15.6150	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
25	22	17.6399	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
26	42	26.7335	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
27	39	32.6044	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
28	15	27.2062	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
29	40	30.9482	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
30	28	30.4856	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
31	13	24.1168	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
32	19	21.2557	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
33	12	17.4659	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
34	38	24.2518	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
35	33	28.4869	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
36	26	28.2692	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
37	14	23.0975	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
38	25	22.9549	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
39	21	22.2283	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
40	32	25.6299	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali

Lampiran 6. Peta Kendali DEWMA untuk $\lambda = 0.6$ (Lanjutan)

No	Jumlah Cacat	Y_j	<i>BKA</i>	<i>BKB</i>	<i>GT</i>	Status
41	20	24.1474	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
42	36	28.1771	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
43	22	26.5981	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
44	17	22.8902	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
45	35	26.6564	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
46	24	26.3027	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
47	17	22.8971	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
48	10	17.7093	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
49	32	22.0239	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali
50	23	23.0656	44.9993	11.6807	28.3400	Terkendali

Lampiran 7. Peta Kendali TEWMA untuk $\lambda = 0.6$

No	Jumlah Cacat	W_j	BKA	BKB	GT	Status
1	34	29.5626	35.4849	21.1951	28.3400	Terkendali
2	43	32.9736	39.5008	17.1792	28.3400	Terkendali
3	46	37.1281	41.4400	15.2400	28.3400	Terkendali
4	40	39.2584	42.2152	14.4648	28.3400	Terkendali
5	44	40.9029	42.4838	14.1962	28.3400	Terkendali
6	48	42.9836	42.5670	14.1130	28.3400	Tidak Terkendali
7	41	43.3155	42.5906	14.0894	28.3400	Tidak Terkendali
8	34	41.3083	42.5969	14.0831	28.3400	Terkendali
9	29	37.7934	42.5984	14.0816	28.3400	Terkendali
10	16	31.7523	42.5988	14.0812	28.3400	Terkendali
11	37	30.5977	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
12	31	30.5909	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
13	41	32.9103	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
14	29	33.0310	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
15	43	35.0861	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
16	37	36.3467	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
17	40	37.5287	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
18	27	35.6655	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
19	22	31.8630	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
20	11	25.8940	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
21	30	24.5412	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
22	8	20.7875	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
23	18	18.7105	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
24	13	16.8532	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
25	22	17.3252	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
26	42	22.9702	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
27	39	28.7507	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
28	15	27.8240	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
29	40	29.6985	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
30	28	30.1708	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
31	13	26.5384	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
32	19	23.3688	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
33	12	19.8270	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
34	38	22.4819	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
35	33	26.0849	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
36	26	27.3955	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
37	14	24.8167	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
38	25	23.6996	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
39	21	22.8168	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
40	32	24.5047	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali

Lampiran 7. Peta Kendali TEWMA untuk $\lambda = 0.6$ (Lanjutan)

No	Jumlah Cacat	W_j	BKA	BKB	GT	Status
41	20	24.2903	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
42	36	26.6224	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
43	22	26.6078	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
44	17	24.3772	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
45	35	25.7447	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
46	24	26.0795	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
47	17	24.1701	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
48	10	20.2936	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
49	32	21.3318	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali
50	23	22.3721	42.5989	14.0811	28.3400	Terkendali

Lampiran 8. Jumlah *Out of Control* Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA

Lambda	Jumlah <i>Out of Control</i>		
	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	8	15	18
0.02	7	16	16
0.03	7	15	16
0.04	5	15	16
0.05	5	14	15
0.06	4	14	15
0.07	3	13	14
0.08	3	13	14
0.09	3	13	14
0.1	3	12	14
0.11	3	9	13
0.12	3	7	14
0.13	3	7	13
0.14	3	4	13
0.15	3	4	12
0.16	3	4	11
0.17	2	4	12
0.18	2	4	9
0.19	2	3	6
0.2	2	3	6
0.21	2	3	5
0.22	2	4	5
0.23	2	4	4
0.24	2	4	4
0.25	2	4	5
0.26	2	4	5
0.27	2	4	5
0.28	2	4	4
0.29	1	4	4
0.3	1	4	4
0.31	1	4	4
0.32	1	3	4
0.33	1	3	4
0.34	0	3	3
0.35	0	3	3
0.36	0	3	3
0.37	0	3	3
0.38	0	3	3

Lampiran 8. Jumlah *Out of Control* Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA (Lanjutan)

Lambda	Jumlah <i>Out of Control</i>		
	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	0	3	3
0.4	0	3	4
0.41	0	3	4
0.42	0	3	4
0.43	0	2	4
0.44	0	2	4
0.45	0	2	4
0.46	0	2	3
0.47	0	2	3
0.48	0	2	3
0.49	0	2	3
0.5	0	2	3
0.51	0	2	3
0.52	0	2	3
0.53	0	1	3
0.54	0	1	3
0.55	0	1	2
0.56	0	0	2
0.57	0	0	2
0.58	0	0	2
0.59	0	0	2
0.6	0	0	2
0.61	0	0	2
0.62	0	0	2
0.63	0	0	2
0.64	0	0	2
0.65	0	0	0
0.66	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮
0.99	0	0	0

Lampiran 9. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.05$ dan 0.1

Lambda	$k = 0.05$			$k = 0.1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	91.0600	44.1566	30.9567	17.8576	6.3516	4.1137
0.02	156.2330	91.4853	69.3610	44.4184	17.9884	11.8302
0.03	197.5285	128.4140	101.9525	69.7146	31.3700	21.3685
0.04	225.8026	157.2947	128.9068	92.3198	44.9740	31.5774
0.05	246.3355	180.3528	151.3405	112.2668	58.2184	41.9158
0.06	261.9125	199.1445	170.2297	129.8663	70.8765	52.1166
0.07	274.1308	214.7385	186.3245	145.4531	82.8705	62.0452
0.08	283.9693	227.8810	200.1900	159.3266	94.1901	71.6359
0.09	292.0609	239.1059	212.2536	171.7401	104.8557	80.8600
0.1	298.8324	248.8039	222.8426	182.9042	114.9018	89.7096
0.11	304.5825	257.2668	232.2106	192.9938	124.3681	98.1886
0.12	309.5257	264.7171	240.5569	202.1537	133.2955	106.3075
0.13	313.8208	271.3269	248.0401	210.5048	141.7237	114.0806
0.14	317.5874	277.2316	254.7877	218.1483	149.6902	121.5236
0.15	320.9172	282.5391	260.9036	225.1697	157.2300	128.6533
0.16	323.8821	287.3362	266.4730	231.6411	164.3755	135.4862
0.17	326.5390	291.6940	271.5666	237.6245	171.1561	142.0387
0.18	328.9334	295.6709	276.2432	243.1725	177.5991	148.3265
0.19	331.1024	299.3152	280.5527	248.3309	183.7291	154.3646
0.2	333.0764	302.6677	284.5372	253.1391	189.5686	160.1670
0.21	334.8806	305.7625	288.2327	257.6313	195.1383	165.7472
0.22	336.5360	308.6289	291.6699	261.8378	200.4570	171.1178
0.23	338.0602	311.2917	294.8755	265.7848	205.5418	176.2904
0.24	339.4683	313.7723	297.8728	269.4954	210.4084	181.2763
0.25	340.7730	316.0893	300.6817	272.9904	215.0712	186.0856
0.26	341.9853	318.2587	303.3200	276.2879	219.5434	190.7281
0.27	343.1147	320.2945	305.8033	279.4041	223.8371	195.2128
0.28	344.1694	322.2091	308.1452	282.3537	227.9635	199.5483
0.29	345.1565	324.0134	310.3579	285.1494	231.9327	203.7425
0.3	346.0825	325.7170	312.4523	287.8032	235.7542	207.8028
0.31	346.9527	327.3283	314.4380	290.3255	239.4368	211.7362
0.32	347.7722	328.8550	316.3236	292.7258	242.9884	215.5493
0.33	348.5451	330.3037	318.1170	295.0127	246.4165	219.2482
0.34	349.2753	331.6807	319.8251	297.1942	249.7280	222.8387
0.35	349.9664	332.9913	321.4543	299.2773	252.9293	226.3263
0.36	350.6213	334.2404	323.0103	301.2685	256.0263	229.7161
0.37	351.2428	335.4325	324.4983	303.1737	259.0245	233.0129
0.38	351.8334	336.5716	325.9230	304.9985	261.9291	236.2213

Lampiran 9. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.05$ dan 0.1 (Lanjutan)

Lambda	$k = 0.05$			$k = 0.1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	352.3954	337.6613	327.2887	306.7477	264.7448	239.3456
0.4	352.9308	338.7050	328.5995	308.4261	267.4761	242.3898
0.41	353.4414	339.7056	329.8589	310.0377	270.1271	245.3578
0.42	353.9290	340.6660	331.0702	311.5865	272.7017	248.2532
0.43	354.3950	341.5886	332.2364	313.0762	275.2035	251.0795
0.44	354.8408	342.4757	333.3604	314.5099	277.6359	253.8399
0.45	355.2677	343.3296	334.4448	315.8909	280.0021	256.5375
0.46	355.6770	344.1521	335.4920	317.2220	282.3050	259.1753
0.47	356.0696	344.9450	336.5041	318.5057	284.5473	261.7560
0.48	356.4466	345.7100	337.4833	319.7447	286.7318	264.2823
0.49	356.8089	346.4486	338.4313	320.9412	288.8608	266.7567
0.5	357.1573	347.1622	339.3501	322.0974	290.9366	269.1816
0.51	357.4926	347.8522	340.2412	323.2152	292.9614	271.5592
0.52	357.8156	348.5197	341.1061	324.2965	294.9372	273.8918
0.53	358.1269	349.1659	341.9463	325.3431	296.8659	276.1813
0.54	358.4271	349.7918	342.7632	326.3567	298.7492	278.4297
0.55	358.7168	350.3984	343.5578	327.3387	300.5888	280.6388
0.56	358.9965	350.9866	344.3315	328.2907	302.3863	282.8105
0.57	359.2668	351.5572	345.0852	329.2139	304.1432	284.9463
0.58	359.5282	352.1110	345.8200	330.1097	305.8609	287.0479
0.59	359.7810	352.6488	346.5369	330.9793	307.5407	289.1167
0.6	360.0257	353.1713	347.2366	331.8238	309.1837	291.1541
0.61	360.2626	353.6790	347.9200	332.6443	310.7912	293.1614
0.62	360.4922	354.1726	348.5878	333.4417	312.3642	295.1399
0.63	360.7147	354.6526	349.2409	334.2171	313.9038	297.0907
0.64	360.9305	355.1196	349.8797	334.9713	315.4110	299.0150
0.65	361.1399	355.5740	350.5050	335.7052	316.8865	300.9136
0.66	361.3432	356.0164	351.1172	336.4196	318.3313	302.7874
0.67	361.5406	356.4471	351.7169	337.1153	319.7462	304.6374
0.68	361.7323	356.8665	352.3046	337.7930	321.1320	306.4642
0.69	361.9187	357.2750	352.8807	338.4534	322.4892	308.2686
0.7	362.0999	357.6731	353.4456	339.0971	323.8187	310.0510
0.71	362.2762	358.0609	353.9997	339.7248	325.1210	311.8120
0.72	362.4477	358.4389	354.5432	340.3371	326.3967	313.5520
0.73	362.6147	358.8073	355.0765	340.9344	327.6463	315.2713
0.74	362.7772	359.1664	355.5997	341.5174	328.8705	316.9701
0.75	362.9356	359.5165	356.1132	342.0866	330.0696	318.6486
0.76	363.0899	359.8578	356.6170	342.6425	331.2442	320.3068

Lampiran 9. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.05$ dan 0.1 (Lanjutan)

Lambda	$k = 0.05$			$k = 0.1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	363.2404	360.1906	357.1114	343.1854	332.3946	321.9448
0.78	363.3871	360.5151	357.5965	343.7159	333.5214	323.5624
0.79	363.5301	360.8315	358.0723	344.2344	334.6248	325.1594
0.8	363.6697	361.1399	358.5389	344.7413	335.7052	326.7355
0.81	363.8059	361.4407	358.9965	345.2370	336.7631	328.2904
0.82	363.9389	361.7339	359.4448	345.7218	337.7986	329.8237
0.83	364.0688	362.0198	359.8841	346.1960	338.8122	331.3348
0.84	364.1957	362.2984	360.3142	346.6602	339.8041	332.8232
0.85	364.3196	362.5700	360.7351	347.1144	340.7747	334.2883
0.86	364.4408	362.8348	361.1468	347.5592	341.7241	335.7293
0.87	364.5592	363.0928	361.5491	347.9947	342.6526	337.1455
0.88	364.6750	363.3441	361.9420	348.4212	343.5606	338.5362
0.89	364.7883	363.5890	362.3254	348.8391	344.4481	339.9005
0.9	364.8991	363.8275	362.6992	349.2485	345.3156	341.2375
0.91	365.0076	364.0598	363.0633	349.6498	346.1631	342.5465
0.92	365.1137	364.2860	363.4176	350.0431	346.9910	343.8266
0.93	365.2176	364.5062	363.7620	350.4288	347.7994	345.0769
0.94	365.3194	364.7204	364.0963	350.8070	348.5886	346.2966
0.95	365.4190	364.9289	364.4206	351.1779	349.3587	347.4849
0.96	365.5166	365.1317	364.7347	351.5418	350.1099	348.6411
0.97	365.6123	365.3289	365.0385	351.8989	350.8426	349.7644
0.98	365.7060	365.5206	365.3320	352.2493	351.5568	350.8541
0.99	365.7979	365.7070	365.6152	352.5932	352.2528	351.9098

Lampiran 10. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.25$ dan 0.5

Lambda	$k = 0.25$			$k = 0.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	1.4270	1.0240	1.0029	1.0000	1.0000	1.0000
0.02	3.2880	1.4334	1.1684	1.0247	1.0000	1.0000
0.03	6.0607	2.2412	1.6104	1.1716	1.0032	1.0001
0.04	9.4651	3.3381	2.2559	1.4462	1.0263	1.0033
0.05	13.3132	4.6740	3.0677	1.8223	1.0853	1.0183
0.06	17.4712	6.2132	4.0248	2.2848	1.1822	1.0530
0.07	21.8426	7.9268	5.1114	2.8250	1.3136	1.1103
0.08	26.3575	9.7904	6.3141	3.4366	1.4757	1.1894
0.09	30.9643	11.7831	7.6214	4.1149	1.6661	1.2887
0.1	35.6246	13.8876	9.0229	4.8555	1.8830	1.4069
0.11	40.3094	16.0888	10.5095	5.6546	2.1252	1.5426
0.12	44.9969	18.3741	12.0732	6.5087	2.3920	1.6951
0.13	49.6702	20.7327	13.7068	7.4144	2.6828	1.8638
0.14	54.3167	23.1554	15.4041	8.3686	2.9973	2.0483
0.15	58.9264	25.6343	17.1594	9.3685	3.3351	2.2483
0.16	63.4919	28.1626	18.9677	10.4116	3.6959	2.4638
0.17	68.0073	30.7346	20.8248	11.4952	4.0798	2.6945
0.18	72.4685	33.3452	22.7267	12.6172	4.4865	2.9405
0.19	76.8720	35.9900	24.6701	13.7753	4.9159	3.2018
0.2	81.2157	38.6654	26.6517	14.9677	5.3680	3.4783
0.21	85.4978	41.3681	28.6690	16.1924	5.8428	3.7702
0.22	89.7172	44.0953	30.7195	17.4478	6.3402	4.0775
0.23	93.8732	46.8446	32.8012	18.7323	6.8603	4.4003
0.24	97.9657	49.6140	34.9122	20.0444	7.4031	4.7388
0.25	101.9945	52.4015	37.0508	21.3827	7.9687	5.0930
0.26	105.9598	55.2056	39.2156	22.7459	8.5573	5.4632
0.27	109.8622	58.0250	41.4053	24.1328	9.1688	5.8494
0.28	113.7022	60.8585	43.6189	25.5423	9.8035	6.2520
0.29	117.4804	63.7051	45.8554	26.9734	10.4616	6.6710
0.3	121.1976	66.5641	48.1140	28.4250	11.1432	7.1067
0.31	124.8547	69.4345	50.3940	29.8963	11.8486	7.5595
0.32	128.4526	72.3159	52.6950	31.3863	12.5780	8.0294
0.33	131.9923	75.2078	55.0164	32.8943	13.3317	8.5169
0.34	135.4747	78.1096	57.3579	34.4194	14.1100	9.0223
0.35	138.9009	81.0212	59.7193	35.9611	14.9132	9.5459
0.36	142.2719	83.9421	62.1004	37.5186	15.7418	10.0881
0.37	145.5886	86.8721	64.5012	39.0913	16.5960	10.6493
0.38	148.8523	89.8111	66.9217	40.6786	17.4764	11.2299

Lampiran 10. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.25$ dan 0.5 (Lanjutan)

Lambda	$k = 0.25$			$k = 0.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	152.0638	92.7590	69.3620	42.2799	18.3833	11.8305
0.4	155.2242	95.7157	71.8223	43.8947	19.3172	12.4515
0.41	158.3346	98.6810	74.3028	45.5225	20.2786	13.0934
0.42	161.3959	101.6550	76.8038	47.1628	21.2681	13.7570
0.43	164.4092	104.6376	79.3258	48.8153	22.2862	14.4427
0.44	167.3754	107.6289	81.8691	50.4794	23.3336	15.1514
0.45	170.2955	110.6289	84.4344	52.1547	24.4107	15.8837
0.46	173.1705	113.6376	87.0222	53.8410	25.5183	16.6404
0.47	176.0013	116.6549	89.6332	55.5377	26.6570	17.4224
0.48	178.7888	119.6811	92.2680	57.2447	27.8275	18.2305
0.49	181.5339	122.7160	94.9274	58.9615	29.0306	19.0658
0.5	184.2375	125.7597	97.6123	60.6879	30.2670	19.9293
0.51	186.9005	128.8122	100.3236	62.4236	31.5376	20.8220
0.52	189.5237	131.8736	103.0622	64.1683	32.8430	21.7452
0.53	192.1079	134.9438	105.8290	65.9217	34.1842	22.7002
0.54	194.6540	138.0228	108.6252	67.6835	35.5620	23.6883
0.55	197.1627	141.1105	111.4519	69.4536	36.9774	24.7109
0.56	199.6347	144.2069	114.3101	71.2318	38.4312	25.7696
0.57	202.0710	147.3119	117.2012	73.0177	39.9244	26.8661
0.58	204.4721	150.4253	120.1262	74.8112	41.4580	28.0021
0.59	206.8388	153.5471	123.0866	76.6122	43.0329	29.1795
0.6	209.1718	156.6771	126.0835	78.4203	44.6502	30.4003
0.61	211.4718	159.8149	129.1183	80.2355	46.3109	31.6667
0.62	213.7395	162.9605	132.1924	82.0575	48.0161	32.9808
0.63	215.9755	166.1134	135.3072	83.8862	49.7668	34.3451
0.64	218.1804	169.2735	138.4639	85.7214	51.5641	35.7622
0.65	220.3548	172.4402	141.6640	87.5631	53.4091	37.2347
0.66	222.4994	175.6133	144.9088	89.4109	55.3030	38.7657
0.67	224.6148	178.7922	148.1996	91.2649	57.2468	40.3580
0.68	226.7015	181.9764	151.5377	93.1248	59.2417	42.0149
0.69	228.7601	185.1655	154.9243	94.9906	61.2887	43.7398
0.7	230.7911	188.3588	158.3606	96.8622	63.3891	45.5363
0.71	232.7951	191.5556	161.8476	98.7393	65.5440	47.4081
0.72	234.7726	194.7553	165.3863	100.6219	67.7543	49.3593
0.73	236.7241	197.9570	168.9775	102.5099	70.0213	51.3939
0.74	238.6501	201.1601	172.6218	104.4032	72.3461	53.5163
0.75	240.5510	204.3637	176.3198	106.3017	74.7296	55.7310
0.76	242.4275	207.5668	180.0718	108.2052	77.1728	58.0426

Lampiran 10. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.25$ dan 0.5 (Lanjutan)

Lambda	$k = 0.25$			$k = 0.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	244.2798	210.7685	183.8778	110.1138	79.6769	60.4562
0.78	246.1085	213.9678	187.7377	112.0273	82.2427	62.9766
0.79	247.9140	217.1636	191.6509	113.9456	84.8711	65.6090
0.8	249.6968	220.3548	195.6167	115.8686	87.5631	68.3588
0.81	251.4572	223.5403	199.6340	117.7964	90.3192	71.2313
0.82	253.1957	226.7188	203.7013	119.7287	93.1404	74.2318
0.83	254.9127	229.8891	207.8167	121.6655	96.0272	77.3661
0.84	256.6085	233.0500	211.9780	123.6068	98.9802	80.6393
0.85	258.2835	236.2000	216.1823	125.5525	101.9998	84.0570
0.86	259.9382	239.3377	220.4266	127.5025	105.0865	87.6244
0.87	261.5728	242.4619	224.7072	129.4567	108.2404	91.3466
0.88	263.1878	245.5710	229.0199	131.4151	111.4618	95.2283
0.89	264.7835	248.6636	233.3601	133.3777	114.7506	99.2740
0.9	266.3602	251.7381	237.7227	135.3443	118.1066	103.4878
0.91	267.9182	254.7931	242.1021	137.3150	121.5297	107.8730
0.92	269.4579	257.8270	246.4923	139.2897	125.0193	112.4326
0.93	270.9796	260.8382	250.8868	141.2682	128.5750	117.1686
0.94	272.4836	263.8253	255.2788	143.2507	132.1958	122.0823
0.95	273.9702	266.7866	259.6609	145.2370	135.8810	127.1737
0.96	275.4397	269.7206	264.0257	147.2270	139.6293	132.4422
0.97	276.8924	272.6257	268.3653	149.2208	143.4394	137.8857
0.98	278.3286	275.5004	272.6717	151.2183	147.3098	143.5006
0.99	279.7486	278.3432	276.9369	153.2194	151.2387	149.2822

Lampiran 11. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.75$ dan 1

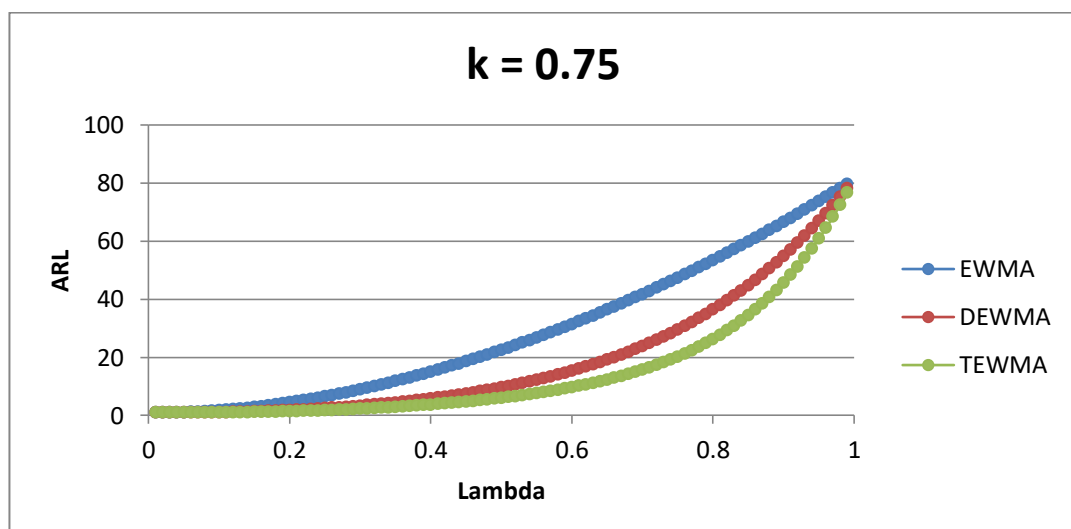
Lambda	$k = 0.75$			$k = 1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.02	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.03	1.0010	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.04	1.0124	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.05	1.0483	1.0001	1.0000	1.0006	1.0000	1.0000
0.06	1.1148	1.0012	1.0000	1.0036	1.0000	1.0000
0.07	1.2108	1.0052	1.0003	1.0123	1.0000	1.0000
0.08	1.3335	1.0144	1.0014	1.0296	1.0000	1.0000
0.09	1.4805	1.0309	1.0042	1.0571	1.0002	1.0000
0.1	1.6499	1.0559	1.0099	1.0954	1.0008	1.0000
0.11	1.8405	1.0898	1.0196	1.1443	1.0022	1.0001
0.12	2.0514	1.1326	1.0339	1.2034	1.0049	1.0003
0.13	2.2819	1.1841	1.0535	1.2722	1.0095	1.0007
0.14	2.5316	1.2441	1.0784	1.3504	1.0164	1.0016
0.15	2.7999	1.3123	1.1089	1.4375	1.0262	1.0033
0.16	3.0867	1.3886	1.1449	1.5334	1.0392	1.0058
0.17	3.3916	1.4726	1.1863	1.6377	1.0555	1.0097
0.18	3.7143	1.5645	1.2330	1.7503	1.0754	1.0150
0.19	4.0547	1.6640	1.2850	1.8711	1.0988	1.0221
0.2	4.4125	1.7713	1.3422	2.0000	1.1259	1.0311
0.21	4.7876	1.8864	1.4046	2.1370	1.1567	1.0422
0.22	5.1796	2.0093	1.4721	2.2821	1.1912	1.0554
0.23	5.5885	2.1401	1.5448	2.4352	1.2294	1.0710
0.24	6.0141	2.2790	1.6227	2.5964	1.2713	1.0889
0.25	6.4562	2.4262	1.7058	2.7657	1.3170	1.1092
0.26	6.9146	2.5817	1.7942	2.9430	1.3665	1.1319
0.27	7.3892	2.7458	1.8880	3.1285	1.4197	1.1572
0.28	7.8798	2.9187	1.9873	3.3222	1.4769	1.1850
0.29	8.3863	3.1006	2.0922	3.5241	1.5381	1.2153
0.3	8.9085	3.2918	2.2029	3.7343	1.6033	1.2482
0.31	9.4463	3.4925	2.3195	3.9528	1.6726	1.2838
0.32	9.9996	3.7029	2.4421	4.1797	1.7462	1.3220
0.33	10.5682	3.9235	2.5710	4.4150	1.8243	1.3630
0.34	11.1519	4.1544	2.7063	4.6588	1.9068	1.4068
0.35	11.7508	4.3960	2.8482	4.9111	1.9940	1.4535
0.36	12.3646	4.6487	2.9971	5.1720	2.0861	1.5031
0.37	12.9934	4.9128	3.1530	5.4416	2.1831	1.5558
0.38	13.6368	5.1886	3.3163	5.7199	2.2854	1.6117

Lampiran 11. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 0.75$ dan 1 (Lanjutan)

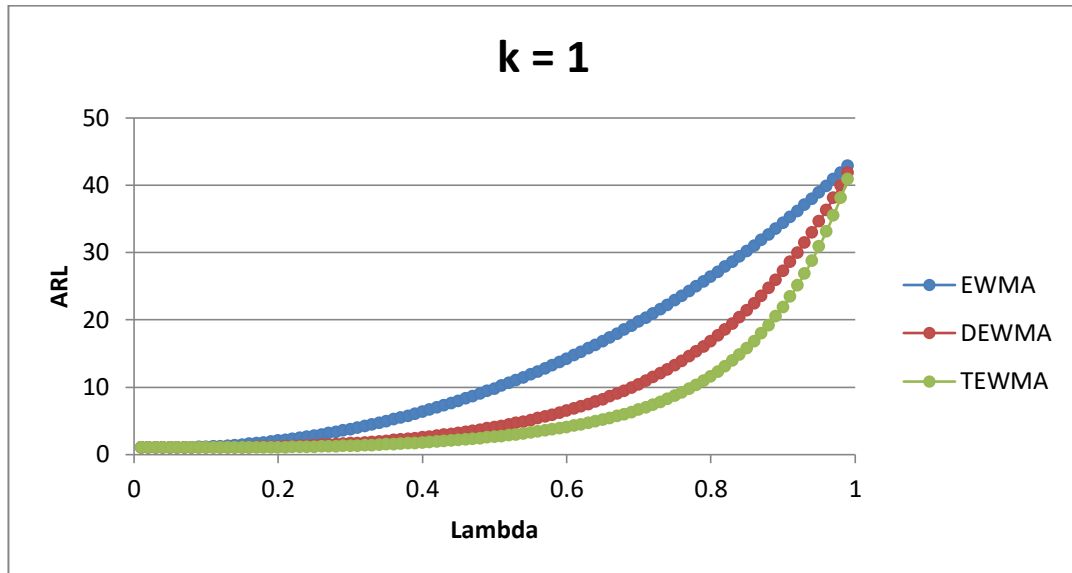
Lambda	$k = 0.75$			$k = 1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	14.2950	5.4766	3.4873	6.0070	2.3931	1.6708
0.4	14.9677	5.7773	3.6662	6.3030	2.5065	1.7333
0.41	15.6549	6.0909	3.8534	6.6078	2.6257	1.7994
0.42	16.3565	6.4181	4.0493	6.9217	2.7510	1.8691
0.43	17.0725	6.7592	4.2541	7.2446	2.8827	1.9427
0.44	17.8027	7.1147	4.4683	7.5767	3.0210	2.0203
0.45	18.5471	7.4853	4.6923	7.9179	3.1663	2.1020
0.46	19.3057	7.8714	4.9266	8.2684	3.3189	2.1883
0.47	20.0783	8.2736	5.1716	8.6283	3.4790	2.2791
0.48	20.8650	8.6926	5.4279	8.9976	3.6472	2.3748
0.49	21.6656	9.1289	5.6960	9.3764	3.8236	2.4757
0.5	22.4802	9.5832	5.9765	9.7648	4.0088	2.5821
0.51	23.3086	10.0562	6.2700	10.1628	4.2030	2.6942
0.52	24.1510	10.5487	6.5773	10.5706	4.4069	2.8124
0.53	25.0072	11.0613	6.8991	10.9882	4.6208	2.9370
0.54	25.8772	11.5949	7.2362	11.4158	4.8452	3.0685
0.55	26.7609	12.1503	7.5894	11.8533	5.0807	3.2074
0.56	27.6585	12.7284	7.9597	12.3010	5.3277	3.3540
0.57	28.5698	13.3300	8.3481	12.7589	5.5869	3.5088
0.58	29.4949	13.9560	8.7555	13.2270	5.8589	3.6725
0.59	30.4337	14.6076	9.1833	13.7056	6.1442	3.8457
0.6	31.3863	15.2855	9.6325	14.1946	6.4436	4.0290
0.61	32.3526	15.9910	10.1046	14.6942	6.7579	4.2230
0.62	33.3327	16.7251	10.6010	15.2046	7.0876	4.4287
0.63	34.3265	17.4889	11.1233	15.7257	7.4336	4.6468
0.64	35.3342	18.2836	11.6730	16.2578	7.7968	4.8782
0.65	36.3556	19.1105	12.2521	16.8008	8.1780	5.1240
0.66	37.3909	19.9708	12.8624	17.3551	8.5781	5.3853
0.67	38.4400	20.8659	13.5061	17.9206	8.9980	5.6632
0.68	39.5030	21.7971	14.1854	18.4975	9.4389	5.9591
0.69	40.5800	22.7659	14.9028	19.0859	9.9017	6.2743
0.7	41.6709	23.7736	15.6608	19.6859	10.3875	6.6104
0.71	42.7758	24.8219	16.4622	20.2978	10.8976	6.9692
0.72	43.8947	25.9123	17.3102	20.9215	11.4331	7.3524
0.73	45.0277	27.0464	18.2079	21.5573	11.9954	7.7621
0.74	46.1749	28.2259	19.1589	22.2053	12.5857	8.2004
0.75	47.3362	29.4525	20.1669	22.8656	13.2055	8.6697
0.76	48.5118	30.7280	21.2359	23.5384	13.8563	9.1727

Lampiran 11. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.75$ dan 1 (Lanjutan)

Lambda	$k = 0.75$			$k = 1$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	49.7017	32.0542	22.3703	24.2238	14.5396	9.7122
0.78	50.9060	33.4329	23.5746	24.9220	15.2569	10.2912
0.79	52.1248	34.8661	24.8538	25.6332	16.0101	10.9132
0.8	53.3581	36.3556	26.2132	26.3575	16.8008	11.5817
0.81	54.6060	37.9036	27.6582	27.0951	17.6310	12.3009
0.82	55.8685	39.5120	29.1950	27.8462	18.5024	13.0749
0.83	57.1458	41.1829	30.8297	28.6108	19.4170	13.9084
0.84	58.4380	42.9183	32.5690	29.3894	20.3770	14.8066
0.85	59.7451	44.7205	34.4199	30.1819	21.3845	15.7748
0.86	61.0672	46.5916	36.3898	30.9886	22.4417	16.8191
0.87	62.4045	48.5337	38.4865	31.8097	23.5509	17.9457
0.88	63.7570	50.5490	40.7179	32.6455	24.7145	19.1615
0.89	65.1248	52.6396	43.0925	33.4960	25.9350	20.4739
0.9	66.5080	54.8079	45.6188	34.3616	27.2149	21.8907
0.91	67.9068	57.0559	48.3059	35.2424	28.5568	23.4202
0.92	69.3213	59.3857	51.1626	36.1387	29.9635	25.0714
0.93	70.7515	61.7996	54.1983	37.0506	31.4377	26.8536
0.94	72.1976	64.2996	57.4222	37.9786	32.9823	28.7769
0.95	73.6598	66.8877	60.8435	38.9226	34.6001	30.8518
0.96	75.1381	69.5658	64.4712	39.8831	36.2942	33.0890
0.97	76.6328	72.3360	68.3142	40.8603	38.0676	35.5000
0.98	78.1438	75.1999	72.3809	41.8545	39.9234	38.0965
0.99	79.6714	78.1593	76.6790	42.8658	41.8647	40.8907



Lampiran 11. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 0.75$ dan 1 (Lanjutan)



Lampiran 12. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 1.25$ dan 1.5

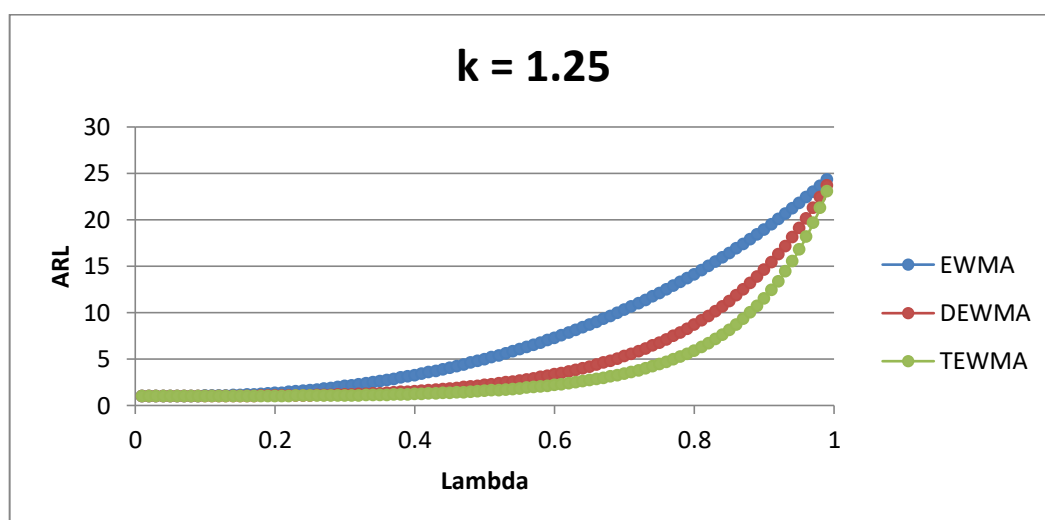
Lambda	$k = 1.25$			$k = 1.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.02	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.03	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.04	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.06	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.07	1.0002	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.08	1.0009	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.09	1.0029	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0072	1.0000	1.0000	1.0002	1.0000	1.0000
0.11	1.0148	1.0000	1.0000	1.0006	1.0000	1.0000
0.12	1.0264	1.0000	1.0000	1.0017	1.0000	1.0000
0.13	1.0426	1.0001	1.0000	1.0036	1.0000	1.0000
0.14	1.0636	1.0003	1.0000	1.0069	1.0000	1.0000
0.15	1.0897	1.0007	1.0000	1.0118	1.0000	1.0000
0.16	1.1207	1.0015	1.0000	1.0188	1.0000	1.0000
0.17	1.1566	1.0028	1.0001	1.0281	1.0000	1.0000
0.18	1.1974	1.0048	1.0003	1.0399	1.0001	1.0000
0.19	1.2429	1.0077	1.0005	1.0544	1.0002	1.0000
0.2	1.2930	1.0117	1.0010	1.0716	1.0004	1.0000
0.21	1.3478	1.0170	1.0017	1.0916	1.0008	1.0000
0.22	1.4070	1.0238	1.0028	1.1144	1.0014	1.0000
0.23	1.4706	1.0322	1.0043	1.1400	1.0023	1.0001
0.24	1.5387	1.0424	1.0064	1.1684	1.0036	1.0002
0.25	1.6112	1.0543	1.0091	1.1996	1.0053	1.0003
0.26	1.6881	1.0683	1.0127	1.2335	1.0077	1.0005
0.27	1.7694	1.0842	1.0171	1.2702	1.0107	1.0008
0.28	1.8550	1.1021	1.0225	1.3097	1.0145	1.0013
0.29	1.9451	1.1223	1.0290	1.3519	1.0192	1.0019
0.3	2.0397	1.1445	1.0367	1.3968	1.0249	1.0028
0.31	2.1388	1.1691	1.0455	1.4445	1.0316	1.0040
0.32	2.2424	1.1959	1.0557	1.4949	1.0395	1.0055
0.33	2.3506	1.2251	1.0673	1.5481	1.0486	1.0075
0.34	2.4634	1.2566	1.0802	1.6041	1.0590	1.0099
0.35	2.5809	1.2907	1.0947	1.6629	1.0708	1.0129
0.36	2.7032	1.3273	1.1107	1.7245	1.0840	1.0164
0.37	2.8303	1.3665	1.1282	1.7890	1.0987	1.0207
0.38	2.9622	1.4084	1.1475	1.8564	1.1149	1.0256

Lampiran 12. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 1.25$ dan 1.5 (Lanjutan)

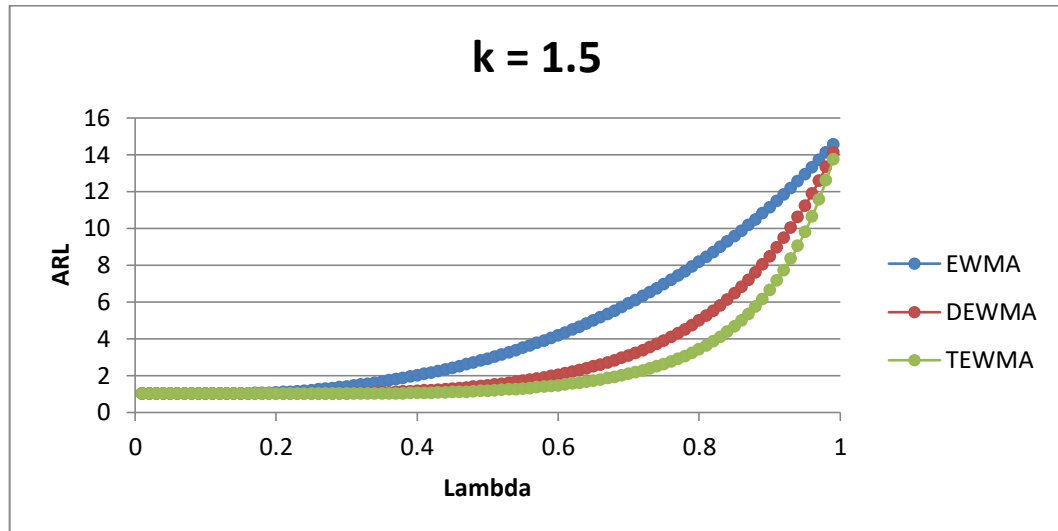
Lambda	$k = 1.25$			$k = 1.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	3.0992	1.4530	1.1684	1.9267	1.1328	1.0314
0.4	3.2411	1.5006	1.1911	2.0000	1.1524	1.0380
0.41	3.3881	1.5512	1.2157	2.0763	1.1737	1.0456
0.42	3.5403	1.6049	1.2421	2.1557	1.1968	1.0541
0.43	3.6977	1.6618	1.2706	2.2382	1.2218	1.0637
0.44	3.8605	1.7222	1.3010	2.3239	1.2488	1.0744
0.45	4.0287	1.7860	1.3337	2.4128	1.2778	1.0863
0.46	4.2023	1.8535	1.3685	2.5051	1.3090	1.0995
0.47	4.3815	1.9250	1.4057	2.6006	1.3424	1.1139
0.48	4.5664	2.0004	1.4454	2.6996	1.3781	1.1297
0.49	4.7570	2.0801	1.4877	2.8021	1.4162	1.1470
0.5	4.9535	2.1643	1.5326	2.9081	1.4569	1.1658
0.51	5.1559	2.2531	1.5805	3.0177	1.5002	1.1862
0.52	5.3643	2.3468	1.6314	3.1310	1.5463	1.2084
0.53	5.5789	2.4458	1.6855	3.2481	1.5953	1.2324
0.54	5.7997	2.5502	1.7430	3.3690	1.6475	1.2582
0.55	6.0268	2.6603	1.8041	3.4938	1.7029	1.2862
0.56	6.2603	2.7765	1.8691	3.6227	1.7617	1.3163
0.57	6.5003	2.8991	1.9383	3.7556	1.8241	1.3487
0.58	6.7470	3.0284	2.0118	3.8927	1.8903	1.3835
0.59	7.0005	3.1649	2.0901	4.0340	1.9606	1.4210
0.6	7.2608	3.3088	2.1735	4.1797	2.0351	1.4613
0.61	7.5280	3.4608	2.2622	4.3298	2.1142	1.5047
0.62	7.8024	3.6211	2.3569	4.4845	2.1980	1.5513
0.63	8.0840	3.7903	2.4578	4.6438	2.2869	1.6013
0.64	8.3729	3.9689	2.5656	4.8078	2.3812	1.6552
0.65	8.6692	4.1574	2.6806	4.9766	2.4812	1.7131
0.66	8.9731	4.3565	2.8037	5.1504	2.5872	1.7755
0.67	9.2848	4.5666	2.9353	5.3292	2.6997	1.8426
0.68	9.6043	4.7886	3.0762	5.5132	2.8191	1.9149
0.69	9.9317	5.0230	3.2273	5.7024	2.9457	1.9929
0.7	10.2673	5.2706	3.3894	5.8971	3.0800	2.0770
0.71	10.6111	5.5322	3.5634	6.0972	3.2226	2.1678
0.72	10.9634	5.8087	3.7505	6.3030	3.3739	2.2660
0.73	11.3242	6.1007	3.9518	6.5145	3.5346	2.3721
0.74	11.6937	6.4094	4.1685	6.7319	3.7052	2.4871
0.75	12.0720	6.7357	4.4022	6.9553	3.8864	2.6117
0.76	12.4594	7.0806	4.6544	7.1848	4.0788	2.7469

Lampiran 12. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.25$ dan 1.5 (Lanjutan)

Lambda	$k = 1.25$			$k = 1.5$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	12.8559	7.4452	4.9269	7.4206	4.2832	2.8937
0.78	13.2618	7.8306	5.2214	7.6629	4.5004	3.0533
0.79	13.6773	8.2382	5.5403	7.9117	4.7313	3.2270
0.8	14.1024	8.6692	5.8857	8.1673	4.9766	3.4162
0.81	14.5374	9.1250	6.2602	8.4298	5.2374	3.6226
0.82	14.9824	9.6070	6.6667	8.6993	5.5148	3.8480
0.83	15.4377	10.1167	7.1083	8.9760	5.8096	4.0943
0.84	15.9035	10.6558	7.5883	9.2601	6.1233	4.3638
0.85	16.3799	11.2260	8.1106	9.5517	6.4568	4.6589
0.86	16.8671	11.8289	8.6792	9.8511	6.8116	4.9823
0.87	17.3654	12.4666	9.2987	10.1584	7.1891	5.3372
0.88	17.8750	13.1410	9.9739	10.4738	7.5907	5.7269
0.89	18.3961	13.8542	10.7104	10.7974	8.0180	6.1551
0.9	18.9289	14.6082	11.5140	11.1296	8.4726	6.6261
0.91	19.4736	15.4055	12.3912	11.4705	8.9564	7.1443
0.92	20.0306	16.2484	13.3489	11.8203	9.4711	7.7150
0.93	20.6000	17.1394	14.3947	12.1793	10.0188	8.3436
0.94	21.1821	18.0810	15.5369	12.5476	10.6016	9.0364
0.95	21.7771	19.0761	16.7843	12.9255	11.2217	9.8001
0.96	22.3854	20.1275	18.1464	13.3132	11.8813	10.6422
0.97	23.0072	21.2381	19.6334	13.7111	12.5831	11.5708
0.98	23.6427	22.4110	21.2563	14.1193	13.3296	12.5946
0.99	24.2924	23.6493	23.0265	14.5380	14.1235	13.7235



Lampiran 12. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.25$ dan 1.5 (Lanjutan)



Lampiran 13. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 1.75$ dan 2

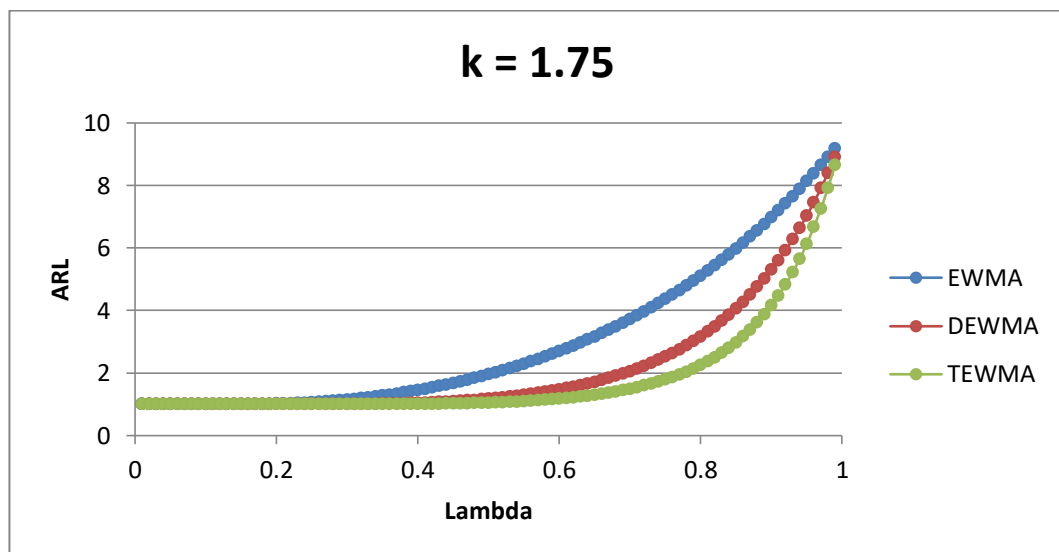
Lambda	$k = 1.75$			$k = 2$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.02	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.03	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.04	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.05	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.06	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.07	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.08	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.09	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.13	1.0001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.14	1.0004	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.15	1.0008	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.16	1.0017	1.0000	1.0000	1.0001	1.0000	1.0000
0.17	1.0031	1.0000	1.0000	1.0002	1.0000	1.0000
0.18	1.0052	1.0000	1.0000	1.0004	1.0000	1.0000
0.19	1.0082	1.0000	1.0000	1.0008	1.0000	1.0000
0.2	1.0124	1.0000	1.0000	1.0014	1.0000	1.0000
0.21	1.0178	1.0000	1.0000	1.0023	1.0000	1.0000
0.22	1.0246	1.0000	1.0000	1.0036	1.0000	1.0000
0.23	1.0329	1.0001	1.0000	1.0054	1.0000	1.0000
0.24	1.0428	1.0001	1.0000	1.0079	1.0000	1.0000
0.25	1.0543	1.0002	1.0000	1.0111	1.0000	1.0000
0.26	1.0676	1.0004	1.0000	1.0151	1.0000	1.0000
0.27	1.0827	1.0007	1.0000	1.0200	1.0000	1.0000
0.28	1.0996	1.0011	1.0000	1.0258	1.0000	1.0000
0.29	1.1182	1.0017	1.0001	1.0327	1.0001	1.0000
0.3	1.1387	1.0025	1.0001	1.0407	1.0001	1.0000
0.31	1.1611	1.0037	1.0002	1.0499	1.0002	1.0000
0.32	1.1853	1.0051	1.0003	1.0602	1.0004	1.0000
0.33	1.2113	1.0070	1.0004	1.0717	1.0006	1.0000
0.34	1.2392	1.0093	1.0006	1.0845	1.0009	1.0000
0.35	1.2690	1.0122	1.0009	1.0986	1.0013	1.0000
0.36	1.3006	1.0156	1.0014	1.1139	1.0019	1.0001
0.37	1.3341	1.0198	1.0019	1.1306	1.0026	1.0001
0.38	1.3696	1.0247	1.0027	1.1486	1.0036	1.0002

Lampiran 13. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 1.75$ dan 2 (Lanjutan)

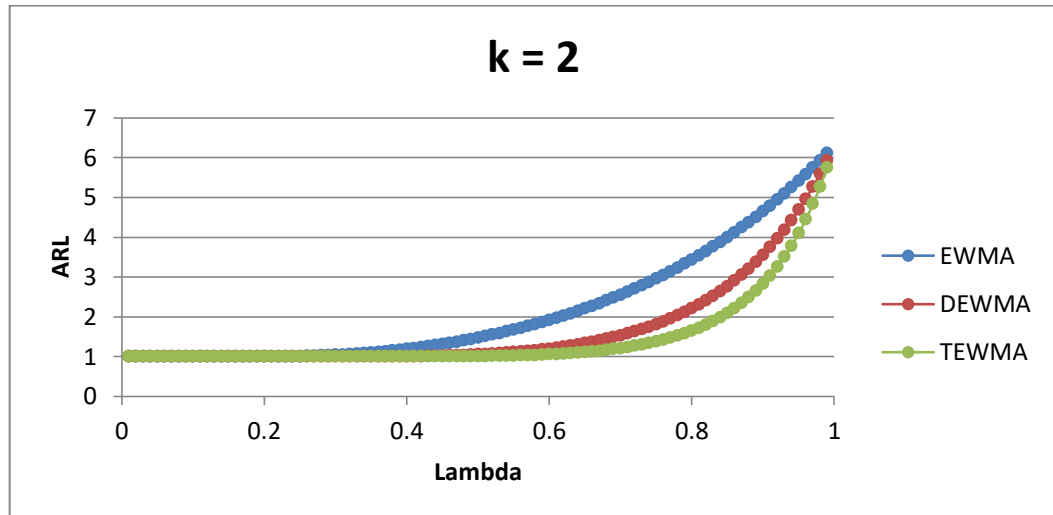
Lambda	$k = 1.75$			$k = 2$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	1.4069	1.0305	1.0036	1.1679	1.0049	1.0002
0.4	1.4462	1.0371	1.0048	1.1886	1.0065	1.0004
0.41	1.4875	1.0447	1.0063	1.2106	1.0084	1.0005
0.42	1.5307	1.0533	1.0082	1.2341	1.0108	1.0007
0.43	1.5759	1.0630	1.0104	1.2589	1.0136	1.0011
0.44	1.6232	1.0738	1.0131	1.2851	1.0170	1.0015
0.45	1.6726	1.0859	1.0163	1.3128	1.0211	1.0020
0.46	1.7240	1.0993	1.0200	1.3419	1.0257	1.0027
0.47	1.7776	1.1140	1.0244	1.3725	1.0311	1.0036
0.48	1.8334	1.1301	1.0295	1.4046	1.0373	1.0047
0.49	1.8914	1.1478	1.0352	1.4382	1.0444	1.0060
0.5	1.9516	1.1670	1.0418	1.4734	1.0523	1.0077
0.51	2.0141	1.1878	1.0493	1.5101	1.0613	1.0097
0.52	2.0790	1.2104	1.0577	1.5484	1.0713	1.0121
0.53	2.1463	1.2348	1.0672	1.5883	1.0825	1.0149
0.54	2.2160	1.2611	1.0777	1.6299	1.0948	1.0183
0.55	2.2883	1.2894	1.0894	1.6731	1.1085	1.0223
0.56	2.3630	1.3199	1.1024	1.7181	1.1234	1.0269
0.57	2.4404	1.3525	1.1168	1.7648	1.1399	1.0322
0.58	2.5205	1.3875	1.1326	1.8133	1.1578	1.0383
0.59	2.6033	1.4250	1.1500	1.8637	1.1774	1.0453
0.6	2.6889	1.4652	1.1691	1.9159	1.1987	1.0532
0.61	2.7774	1.5080	1.1900	1.9700	1.2217	1.0622
0.62	2.8688	1.5538	1.2128	2.0261	1.2467	1.0724
0.63	2.9632	1.6028	1.2378	2.0843	1.2737	1.0839
0.64	3.0606	1.6550	1.2650	2.1445	1.3029	1.0967
0.65	3.1612	1.7107	1.2947	2.2067	1.3344	1.1110
0.66	3.2651	1.7701	1.3271	2.2712	1.3682	1.1270
0.67	3.3722	1.8335	1.3623	2.3379	1.4047	1.1448
0.68	3.4828	1.9010	1.4006	2.4069	1.4438	1.1646
0.69	3.5968	1.9730	1.4424	2.4782	1.4859	1.1865
0.7	3.7143	2.0498	1.4878	2.5519	1.5311	1.2108
0.71	3.8356	2.1316	1.5373	2.6281	1.5796	1.2377
0.72	3.9605	2.2189	1.5912	2.7068	1.6316	1.2673
0.73	4.0893	2.3119	1.6499	2.7881	1.6873	1.3001
0.74	4.2220	2.4111	1.7140	2.8721	1.7470	1.3362
0.75	4.3588	2.5168	1.7838	2.9588	1.8111	1.3761
0.76	4.4997	2.6296	1.8601	3.0484	1.8797	1.4201

Lampiran 13. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.75$ dan 2 (Lanjutan)

Lambda	$k = 1.75$			$k = 2$		
	EWMA	DEWMA	TEWMA	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	4.6449	2.7499	1.9434	3.1409	1.9532	1.4686
0.78	4.7945	2.8782	2.0345	3.2364	2.0319	1.5221
0.79	4.9485	3.0151	2.1342	3.3349	2.1163	1.5811
0.8	5.1071	3.1612	2.2433	3.4366	2.2067	1.6462
0.81	5.2704	3.3172	2.3630	3.5416	2.3036	1.7181
0.82	5.4386	3.4837	2.4944	3.6499	2.4075	1.7975
0.83	5.6117	3.6615	2.6387	3.7616	2.5187	1.8852
0.84	5.7900	3.8514	2.7974	3.8769	2.6380	1.9823
0.85	5.9735	4.0542	2.9721	3.9959	2.7659	2.0898
0.86	6.1624	4.2709	3.1646	4.1186	2.9030	2.2089
0.87	6.3569	4.5024	3.3770	4.2452	3.0501	2.3409
0.88	6.5570	4.7498	3.6115	4.3758	3.2079	2.4874
0.89	6.7630	5.0143	3.8707	4.5105	3.3771	2.6502
0.9	6.9750	5.2971	4.1574	4.6494	3.5587	2.8312
0.91	7.1931	5.5995	4.4749	4.7927	3.7537	3.0326
0.92	7.4176	5.9227	4.8267	4.9405	3.9629	3.2569
0.93	7.6487	6.2685	5.2167	5.0930	4.1876	3.5071
0.94	7.8864	6.6383	5.6496	5.2502	4.4289	3.7861
0.95	8.1311	7.0338	6.1302	5.4124	4.6880	4.0977
0.96	8.3829	7.4569	6.6641	5.5797	4.9664	4.4458
0.97	8.6419	7.9094	7.2574	5.7522	5.2654	4.8350
0.98	8.9085	8.3935	7.9169	5.9301	5.5867	5.2704
0.99	9.1829	8.9113	8.6500	6.1137	5.9320	5.7576



Lampiran 13. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 1.75$ dan 2 (Lanjutan)



Lampiran 14. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 3$

	$k = 3$		
Lambda	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.01	1.0000	1.0000	1.0000
0.02	1.0000	1.0000	1.0000
0.03	1.0000	1.0000	1.0000
0.04	1.0000	1.0000	1.0000
0.05	1.0000	1.0000	1.0000
0.06	1.0000	1.0000	1.0000
0.07	1.0000	1.0000	1.0000
0.08	1.0000	1.0000	1.0000
0.09	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	1.0000	1.0000	1.0000
0.11	1.0000	1.0000	1.0000
0.12	1.0000	1.0000	1.0000
0.13	1.0000	1.0000	1.0000
0.14	1.0000	1.0000	1.0000
0.15	1.0000	1.0000	1.0000
0.16	1.0000	1.0000	1.0000
0.17	1.0000	1.0000	1.0000
0.18	1.0000	1.0000	1.0000
0.19	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	1.0000	1.0000	1.0000
0.21	1.0000	1.0000	1.0000
0.22	1.0000	1.0000	1.0000
0.23	1.0000	1.0000	1.0000
0.24	1.0000	1.0000	1.0000
0.25	1.0000	1.0000	1.0000
0.26	1.0000	1.0000	1.0000
0.27	1.0000	1.0000	1.0000
0.28	1.0000	1.0000	1.0000
0.29	1.0000	1.0000	1.0000
0.3	1.0000	1.0000	1.0000
0.31	1.0000	1.0000	1.0000
0.32	1.0001	1.0000	1.0000
0.33	1.0001	1.0000	1.0000
0.34	1.0001	1.0000	1.0000
0.35	1.0002	1.0000	1.0000
0.36	1.0003	1.0000	1.0000
0.37	1.0005	1.0000	1.0000
0.38	1.0007	1.0000	1.0000

Lampiran 14. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA
untuk $k = 3$ (Lanjutan)

	$k = 3$		
Lambda	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.39	1.0010	1.0000	1.0000
0.4	1.0014	1.0000	1.0000
0.41	1.0018	1.0000	1.0000
0.42	1.0024	1.0000	1.0000
0.43	1.0032	1.0000	1.0000
0.44	1.0041	1.0000	1.0000
0.45	1.0051	1.0000	1.0000
0.46	1.0064	1.0000	1.0000
0.47	1.0080	1.0000	1.0000
0.48	1.0098	1.0000	1.0000
0.49	1.0119	1.0000	1.0000
0.5	1.0142	1.0000	1.0000
0.51	1.0170	1.0001	1.0000
0.52	1.0200	1.0001	1.0000
0.53	1.0235	1.0001	1.0000
0.54	1.0274	1.0002	1.0000
0.55	1.0316	1.0003	1.0000
0.56	1.0364	1.0004	1.0000
0.57	1.0416	1.0006	1.0000
0.58	1.0473	1.0008	1.0000
0.59	1.0535	1.0011	1.0000
0.6	1.0602	1.0016	1.0000
0.61	1.0674	1.0021	1.0001
0.62	1.0753	1.0028	1.0001
0.63	1.0837	1.0036	1.0001
0.64	1.0927	1.0047	1.0002
0.65	1.1023	1.0061	1.0003
0.66	1.1126	1.0078	1.0005
0.67	1.1235	1.0098	1.0007
0.68	1.1351	1.0122	1.0009
0.69	1.1474	1.0151	1.0013
0.7	1.1604	1.0186	1.0018
0.71	1.1741	1.0227	1.0025
0.72	1.1886	1.0275	1.0034
0.73	1.2038	1.0331	1.0046
0.74	1.2198	1.0396	1.0062
0.75	1.2366	1.0470	1.0082
0.76	1.2542	1.0555	1.0107

Lampiran 14. Perbandingan ARL Peta Kendali EWMA, DEWMA dan TEWMA untuk $k = 3$ (Lanjutan)

	$k = 3$		
Lambda	EWMA	DEWMA	TEWMA
0.77	1.2727	1.0652	1.0139
0.78	1.2921	1.0761	1.0179
0.79	1.3123	1.0885	1.0229
0.8	1.3335	1.1023	1.0289
0.81	1.3556	1.1179	1.0364
0.82	1.3787	1.1352	1.0454
0.83	1.4027	1.1545	1.0562
0.84	1.4279	1.1759	1.0691
0.85	1.4540	1.1996	1.0845
0.86	1.4813	1.2258	1.1027
0.87	1.5097	1.2546	1.1240
0.88	1.5392	1.2863	1.1490
0.89	1.5700	1.3211	1.1781
0.9	1.6020	1.3592	1.2120
0.91	1.6352	1.4010	1.2511
0.92	1.6698	1.4467	1.2963
0.93	1.7058	1.4967	1.3483
0.94	1.7431	1.5513	1.4080
0.95	1.7820	1.6109	1.4766
0.96	1.8223	1.6759	1.5552
0.97	1.8642	1.7468	1.6451
0.98	1.9078	1.8240	1.7480
0.99	1.9530	1.9082	1.8656

