TUGAS AKHIR – KM184801

ANALISIS KINERJA DIAGRAM KONTROL *DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* (DEWMA) DENGAN *MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE* (MFIR) DALAM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK PIPA BESI DI PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

MUHAMMAD RIZAL FANANI
06111640000089

Dosen Pembimbing
Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT

Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

FINAL PROJECT – KM184801

PERFORMANCE ANALYSIS OF DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE (DEWMA) CONTROL DIAGRAM WITH MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE (MFIR) IN QUALITY CONTROL OF IRON PIPE PRODUCTS AT PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

MUHAMMAD RIZAL FANANI
NRP. 06111640000089

Supervisor:
Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT

MATHEMATICS DEPARTMENT
Faculty of Sains and Data Analytic
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KINERJA DIAGRAM KONTROL *DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* (DEWMA) DENGAN *MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE* (MFIR) DALAM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK PIPA BESI DI PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

PERFORMANCE ANALYSIS OF DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE (DEWMA) CONTROL DIAGRAM WITH MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE (MFIR) IN QUALITY CONTROL OF IRON PIPE PRODUCTS AT PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika
Pada bidang studi Riset Operasi dan Pengolahan Data
Program Studi S1 Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitik Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD RIZAL FANANI
NRP. 0611164000089

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT
NIP. 19710928 199802 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Matematika ITS

Subchan, Ph.D
NIP. 19710513 199702 1 001

Surabaya, 19 Agustus 2020

ANALISIS KINERJA DIAGRAM KONTROL *DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* (DEWMA) DENGAN *MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE* (MFIR) DALAM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK PIPA BESI DI PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

Nama : Muhammad Rizal Fanani

NRP : 06111640000089

Jurusan : Matematika FSAD ITS

Pembimbing : Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT

Abstrak

Daya saing antar industri yang tinggi di era globalisasi ini mendorong perusahaan untuk melakukan banyak inovasi pada produknya agar sesuai dengan permintaan konsumen dan mampu bersaing dengan perusahaan lainnya, salah satunya adalah peningkatan kualitas produk. Salah satu metode pengendalian kualitas yang digunakan adalah diagram kontrol. Pada penelitian ini menerapkan diagram kontrol Double Exponentially Weight Moving Average (DEWMA) dengan Modified Fast Initial Response (MFIR) yang dibandingkan dengan diagram kontrol DEWMA dan DEWMA Fast Initial Response (FIR) pada pengendalian kualitas produk pipa besi PT. Pasific Angkasa Abadi. Diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR adalah diagram kontrol yang memonitor data atribut maupun variabel untuk mendeteksi perubahan kecil dari proses industri. FIR dan MFIR adalah fitur tambahan yang digunakan dengan tujuan dapat lebih meningkatkan kepekaan dari diagram kendali tersebut dalam mendeteksi pergeseran rata-rata yang menyebabkan proses produksi menjadi out of control. Dari hasil analisa dan pembahasan, menunjukkan bahwa data cacat produk pipa besi belum terkendali secara statistik. Kinerja diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA MFIR memberikan hasil yang

lebih sensitif sebesar 3,64% daripada diagram kontrol DEWMA berdasarkan jumlah data yang out of control.

***Kata kunci**: Pengendalian Kualitas, Diagram Kontrol, DEWMA, FIR, MFIR.*

PERFORMANCE ANALYSIS OF DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE (DEWMA) CONTROL DIAGRAM WITH MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE (MFIR) IN QUALITY CONTROL OF IRON PIPE PRODUCTS AT PT. PASIFIC ANGKASA ABADI

Name : Muhammad Rizal Fanani

NRP : 06111640000089

Departement : Matematika FSAD ITS

Supervisors : Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT

Abstract

High competitiveness in the era of globalization is encouraging companies to make many innovations in their products to suit consumer demand and be able to compete with other companies, one of which is improving product quality. One of the quality control methods used is a control chart. In this study the Double Exponentially Weight Moving Average (DEWMA) control chart with Modified Fast Initial Response (MFIR) is compared to the DEWMA and DEWMA Fast Initial Response (FIR) control charts on the quality control of PT. Pacific Angkasa Abadi. DEWMA, DEWMA FIR, and DEWMA MFIR control chart are control charts that monitor attribute and variable data to detect small changes in industrial processes. FIR and MFIR are additional features that are used to increase the sensitivity of the control chart in detecting a shift in the average which causes the production process to become out of control. From the results of the analysis and discussion, it shows that the data on iron pipe product defects has not been controlled statistically. The performance of DEWMA FIR and DEWMA MFIR control charts gives more sensitive results by 3.64% than

DEWMA control charts based on the amount of data out of control.
Keywords: Quality Control, Control Chart, DEWMA, FIR, MFIR.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena berkah, rahmat, dan ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir yang berjudul "**ANALISIS KINERJA DIAGRAM KONTROL *DOUBLE EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* (DEWMA) DENGAN *MODIFIED FAST INITIAL RESPONSE* (MFIR) DALAM PENGENDALIAN KUALITAS PRODUK PIPA BESI DI PT. PASIFIC ANGKASA ABADI"** sebagai salah satu syarat akademis untuk menyelesaikan Program Sarjana Strata Tingkat 1 Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat doa, kerja sama, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
2. Bapak Subchan, Ph.D selaku Kepala Departemen Matematika ITS.
3. Ibu Dr. Valeriana Lukitosari, S.Si, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan akademis selama penulis kuliah di Departemen Matematika ITS dan senantiasa memberikan bimbingan, ilmu, motivasi, dukungan dan doa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.
4. Ibu Dr. Dwi Ratna Sulistyaningrum, S.Si, MT dan Bapak Dr. Budi Setiyono, S.Si, M.T selaku Sekretaris I dan Sekretaris II Departemen Matematika ITS yang telah memberikan arahan

akademis selama penulis kuliah di Departemen Matematika ITS.

5. Bapak Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT dan Ibu Dian Winda Setyawati, S.Si, M.Si selaku Dosen Wali dari semester 1-5 dan semester 6 hingga penulis lulus kuliah, yang memberikan bimbingan dan motivasi selama penulis menjalani perkuliahan di Departemen Matematika ITS.
6. Bapak Drs. Daryono Budi Utomo, M.Si, Drs. Lukman Hanafi, M.Sc, dan Muhammad Luthfi Shahab, S.Si, M.Si selaku Dosen Penguji yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Matematika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan motivasi kepada penulis selama kuliah di Departemen Matematika ITS.
8. Seluruh Staff Departemen Matematika ITS yang telah memberikan pelayanan dan membantu penulis selama kuliah di Departemen Matematika ITS.
9. Atik Ashdiqa Adzim sebagai teman istimewa yang selalu membantu dan memberi dukungan penulis selama kuliah di Departemen Matematika ITS dan pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Teman-teman Warung Pakde JOI, Irfan, Chandra, Fachry, Gunawan, Ulum, Fityan, Lutvi, Ari, Yusron, dan Abah Syafi'i yang selalu menemani disaat senang dan sedih penulis selama kuliah di Departemen Matematika ITS.
11. Teman-teman Matematika 2016 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama berkuliah di Departemen Matematika ITS.
12. Teman-teman seperjuangan Wisuda 122 yang telah memberikan dukungan, semangat, bantuan serta mengingatkan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

13. Teman-teman UKM SEPAKBOLA ITS yang mewarnai kehidupan perkuliahan penulis selama berkuliah di ITS.
14. PT. Pacific Angkasa Abadi yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian disana.
15. Pak Eko yang telah membantu dan menemani saya dalam melakukan penelitian di PT. Pacific Angkasa Abadi.
16. Semua pihak yang belum disebutkan yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna serta masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sehingga Tugas Akhir ini bisa lebih baik lagi. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 30 Mei 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
Abstrak vii
Abstract ix
KATA PENGANTAR xi
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xix
DAFTAR TABEL xxi
DAFTAR LAMPIRAN xxiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan 5
1.5 Manfaat 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Penelitian Terdahulu 7
2.2 Pengendalian Kualitas Statistik 8
2.3 Alat Bantu Pengendalian Kualitas 8
2.3.1 Check Sheet 9
2.3.2 Diagram Pareto 9
2.3.3 Fishbone Diagram 10
2.3.4 Histogram 11

2.3.5 Diagram Kontrol 12
2.4 Identitas Gradshteyn & Ryzhik 12
2.5 Distribusi Normal 13
2.6 Hampiran Distribusi Probabilitas 13
2.7 Uji Normalitas 14
2.8 *Modified Fast Initial Response* (MFIR) 15
2.9 Diagram Kontrol DEWMA 16
BAB III METODE PENELITIAN 19
3.1 Tahapan Penelitian 19
3.2 Diagram Alir 21
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 23
4.1 Mengkaji Rumusan Batas Kendali Diagram Kontrol DEWMA MFIR 23
4.2 Histogram 34
4.3 Diagram Pareto 34
4.4 Fishbone Diagram 37
4.5 Usulan Tindakan Perbaikan Untuk Mengatasi Penyebab Cacat 40
4.6 Analisis Menggunakan Diagram Kontrol 42
4.6.1 Uji Normalitas 42
4.6.2 Diagram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR 42
4.7 Perbandingan Output dari Diagram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR 50
BAB V Kesimpulan dan Saran 53
5.1 Kesimpulan 53
5.2 Saran 54
DAFTAR PUSTAKA 57

LAMPIRAN 61
BIODATA PENULIS.....79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Check Sheet 9
Gambar 2.2 Diagram Pareto 10
Gambar 2.3 Fishbone Diagram 11
Gambar 2.4 Histogram 11
Gambar 2.5 Diagram Kontrol 12
Gambar 2.6 Diagram Kontrol EWMA 16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 22
Gambar 4.1 Histogram Cacat Produk Pipa Besi PT. Pasific Angkasa Abadi Bulan Oktober – Desember 2019.... 34
Gambar 4.2 Diagram Pareto Jenis Cacat Produk Pipa Besi 36
Gambar 4.3 Fishbone Diagram Cacat Produk Pipa Besi 39
Gambar 4.4 Diagram Kontrol DEWMA 46
Gambar 4.5 Diagram Kontrol DEWMA FIR..... 48
Gambar 4.6 Diagram Kontrol DEWMA MFIR 49

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Batas Kendali Diagram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR 33
Tabel 4.2 Jumlah Jenis Cacat Produk Pipa Besi Bulan Oktober – Desember 2019 35
Tabel 4.3 Presentase Cacat Produk Pipa Besi Bulan Oktober – Desember 2019 36
Tabel 4.4 Perbandingan Presentase Jumlah Data Out of Control 50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov – Smirnov 61
Lampiran B. Data Produksi Cacat Pipa Besi PT. Pasific Angkasa Abadi Bulan Oktober – Desember 2019 63
Lampiran C. Statistik Uji 66
Lampiran D. Perhitungan z_i, BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA 69
Lampiran E. Perhitungan z_i, BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA FIR 72
Lampiran F. Perhitungan z_i, BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA MFIR 75

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) yang semakin pesat di era globalisasi ini menyebabkan tingginya persaiangan di berbagai bidang, salah satunya bidang industri. Peningkatan daya saing antar industri akan mendorong banyak perusahaan untuk menciptakan inovasi-inovasi baru atas produknya. Setiap produk yang dihasilkan memiliki sejumlah elemen yang bersesuaian dengan penggunanya sehingga dalam hal ini konsumen akan memilah dan memilih produk mana yang sesuai keinginan [2]. Salah satu elemen tersebut adalah kualitas. Kualitas adalah keseluruhan ciri atau karakteristik produk atau jasa dalam tujuannya untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan. Peningkatan kualitas adalah pengurangan variabilitas (kesalahan) dalam proses dan produk. Hal ini menyiratkan bahwa jika variabilitas yang terjadi menurun, maka kualitas produk meningkat [1]. Dengan adanya strategi jaminan kualitas yang baik dan benar akan mendorong banyaknya jumlah permintaan oleh konsumen karena rasa kepuasan yang terpenuhi sehingga tejadi peningkatan produktivitas industri tersebut. Oleh karena itu, pengendalian kualitas akan menjadi faktor penting dari keberhasilan pertumbuhan dan persaingan suatu industri.

Upaya untuk meningkatkan kualitas dan produktivitas merupakan tujuan utama dari *Statistic Process Control* (SPC) [1]. Salah satu metode SPC yang digunakan adalah diagram kontrol. Berdasarkan jenis karakteristik kualitasnya, terdapat dua macam diagram kontrol, yaitu diagram kontrol atribut dan diagram kontrol variabel. Diagram kontrol atribut digunakan jika karakteristik kualitas yang diamati hanya dinyatakan dalam bentuk suatu spesifikasi (cacat atau tidak cacat, baik atau buruk,

dst) atau bersifat kualitatif. Sedangkan diagram kontrol variabel digunakan jika karakteristik kualitasnya yang diamati dapat diukur *(measurable)* atau bersifat kuantitatif.

Diagram kontrol yang pertama kali diperkenalkan adalah diagram kontrol Shewart. Kelemahan utama dalam diagram kontrol Shewhart adalah diagram kontrol ini hanya menggunakan informasi sampel yang terakhir dan mengabaikan informasi yang diberikan oleh sampel-sampel sebelumnya sehingga menyebabkan diagram kontrol Shewhart kurang sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata yang kecil dalam proses produksi. Untuk mengatasi kelemahan diagram kontrol Shewart diciptakan diagram kontrol lainnya, yaitu diagram kontrol *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) yang mana diagram kontrol tersebut baik untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil dalam suatu proses produksi [1]. Pada diagram kontrol EWMA, data yang terbaru berhubungan dengan data yang sebelumnya dan data diberi bobot menurun secara eksponential.

Lalu dalam perkembangannya, dibangun diagram kontrol *Double Exponential Weighted Moving Average* (DEWMA) yang merupakan perluasan diagram kontrol EWMA dan dibangun berdasarkan asumsi data berdistribusi normal. Diagram kontrol DEWMA dan EWMA bekerja secara efisien untuk mendeteksi pergeseran kecil ketika rata-rata proses telah sedikit berubah dan diagram kontrol Shewhart berfungsi dengan baik untuk mendeteksi perubahan besar (lebih dari dua kali standar deviasi proses) [3]. Diagram kontrol DEWMA memiliki variabilitas yang lebih kecil dan sifat *smoothing* daripada EWMA dan hal tersebut yang diinginkan dalam beberapa proses industri. Kemudian diperkenalkan fitur *Modified Fast Initial Response* (MFIR) yang digunakan pada diagram kontrol EWMA dan CUSUM untuk memperluas struktur diagram kontrol tersebut dengan tujuan meningkatkan kepekaan dalam mendeteksi

pergeseran rata-rata yang menyebabkan proses produksi menjadi *out of control* [4]. Oleh karena fitur MFIR hanya dikaji pada diagram kontrol EWMA dan CUSUM, dalam penelitian ini akan dianalisis penggunaan fitur *Modified Fast Initial Response* (MFIR) pada diagram kontrol DEWMA.

Penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengendalian kualitas dalam menganalisis kinerja diagram kontrol adalah penelitian mengenai perbandingan kinerja grafik pengendali *Cumulative Sum* (CUSUM) dan *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses [5]. Dalam penelitian tersebut diperoleh kesimpulan bahwa grafik pengendali EWMA lebih efektif dan peka daripada CUSUM dalam mendeteksi tanda pergeseran rata-rata pada tingkat variasi kurang dari $1{,}0\,\sigma$. Penelitian lainnya adalah penelitian mengenai perbandingan kinerja diagram kontrol *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Decision On Belief* (DOB) [7]. Hasil yang diperoleh adalah diagram kontrol DOB memiliki kinerja yang lebih baik, karena lebih sensitif dalam mendeteksi jumlah data *out of control* dengan selisih sebesar 6,67% dibandingkan diagram kontrol EWMA.

Berdasarkan paparan diatas, penulis ingin melakukan penelitian mengenai diagram kontrol DEWMA dengan tambahan fitur MFIR yang mana fitur tersebut telah dianalisa dan diuji pada diagram kontrol EWMA dan CUSUM saja sehingga penelitian ini dirasa penting karena dapat menunjukkan suatu diagram kontrol dengan kinerja yang lebih baik dan merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya [4]. Dalam penelitian ini, dilakukan pembahasan mengenai analisis penerapan kinerja diagram kontrol DEWMA dengan MFIR dalam pengendalian kualitas produk dengan penggunaan parameter $\lambda = 0{,}25$; $L = 2{,}72$ dan $a = 0{,}3$; $f = 0{,}5$ dengan harapan diagram kontrol

tersebut dapat lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil dalam suatu proses produksi. Kinerja yang dibandingkan merupakan kemampuan kerja diagram kontrol dalam mengidentifikasi *output* dari diagram kontrol DEWMA, DEWMA dengan FIR, dan diagram DEWMA dengan MFIR berdasarkan jumlah data yang *out of control*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan masukan kepada pihak perusahaan dalam menentukan strategi pengendalian kualitas pada masa yang akan datang sebagai upaya peningkatan kualitas produk.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, didapatkan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengkaji rumusan batas kendali diagram kontrol DEWMA dengan MFIR?
2. Faktor-faktor apa saja yang menyebabkan cacat pada produk?
3. Bagaimana penerapan dan hasil *output*-nya diagram kontrol DEWMA dengan MFIR pada produk berdasarkan data yang *out of control*?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari hasil pencatatan PT. Pasific Angkasa Abadi.
2. Variabel yang digunakan adalah banyaknya produk yang cacat atau tidak sesuai.
3. Parameter yang digunakan adalah $\lambda = 0{,}25$; $L = 2{,}72$ dan $a = 0{,}3$; $f = 0{,}5$ [4] & [10].

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengkaji rumusan batas kendali diagram kontrol DEWMA dengan MFIR.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan cacat pada produk.
3. Menerapkan dan menganalisa hasil penerapan diagram kontrol DEWMA dengan MFIR pada produk.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini, penulis mengharapkan agar penelitian ini dapat bermanfaat bagi berbagai kalangan sebagai berikut:

1. Mendapatkan diagram kontrol yang mempunyai kinerja terbaik dengan membandingkan kinerja dari diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR.
2. Mengetahui manfaat dari fitur MFIR dalam meningkatkan kinerja diagram kontrol.
3. Mengetahui faktor-faktor yang dapat menyebabkan cacat pada produk dan tindakan perbaikan dalam mengatasi hal tersebut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini penulis merujuk pada beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik yang diambil. Penelitian yang pertama adalah mengenai analisis perbandingan grafik kendali CUSUM *(Cumulative Sum)* dan EWMA *(Exponentially Weighted Moving Average)* dalam pengendalian kualitas produk [6]. Hasil dari analisa yang telah dilakukan, teramati bahwa diagram kontrol EWMA memliki kinerja yang lebih baik daripada diagram kontrol CUSUM karena lebih sensitif dalam mendeteksi jumlah data *out of control*. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan grafik EWMA lebih baik daripada grafik CUSUM [6].

Penelitian selanjutnya adalah mengenai perbandingan kinerja diagram kontrol *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dan *Decision On Belief* (DOB) [7]. Hasil yang diperoleh adalah diagram kontrol DOB memberikan kinerja lebih baik, karena mampu mendeteksi jumlah data *out of control* lebih sensitif sebesar 6,67% dibandingkan diagram kontrol EWMA.

Penelitian lainnya adalah kajian mengenai perbandingan kinerja grafik pengendali *Cumulative Sum* (CUSUM) dan *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dalam mendeteksi pergeseran rata-rata proses [5]. Dari kajian dan analisa yang telah dilakukan, teramati bahwa grafik pengendali CUSUM kurang sensitif dalam mendeteksi tanda pergeseran rata-rata pada tingkat variasi kurang dari 1,0 σ. Pada tingkat variasi ini, grafik pengendali EWMA lebih efektif daripada grafik CUSUM. Diantara beberapa parameter grafik pengendali EWMA, $\lambda = 0{,}1;\ L = 2{,}814$ dan $\lambda = 0{,}05;\ L = 2{,}615$

merupakan parameter yang dapat memberikan kinerja terbaik pada grafik EWMA karena lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran rata-rata.

2.2. Pengendalian Kualitas Statistik

Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *engineering*, *manufacture*, dan *maintenance*, yang mana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan [2].

Pengendalian kualitas berguna untuk mengukur ciri-ciri kualitas produk, membandingkannya dengan spesifikasi atau persyaratan, dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai jika terjadi perbedaan antara hasil pengamatan yang sebenarnya dan yang standar [8]. Pengendalian kualitas statistik *(Statistical Quality Control)* memiliki definisi yang sama dengan pengendalian proses statistik *(Statistical Process Control)*. *Statistical Process Control* (SPC) merupakan suatu terminologi yang digunakan untuk menjelaskan penggunaan teknik-teknik dalam memantau dan meningkatkan kinerja suatu proses untuk menghasilkan produk yang berkualitas guna memenuhi kebutuhan dan ekspetasi pelanggan. Tujuan utama dari pengendalian kualitas statistik adalah pengurangan variabilitas atau kesalahan secara sistematik dari karakteristik produk yang tidak sesuai, memperbaiki kualitas produk, dan menjaga kestabilan proses [1].

2.3. Alat Bantu Pengendalian Kualitas

Dalam pengendalian kualitas statistik, terdapat beberapa alat yang digunakan sebagai alat bantu dalam memecahkan berbagai masalah pengendalian kualitas. Alat bantu tersebut

adalah lembar pemeriksaan *(check sheet)*, histogram, diagram pareto, diagram sebab akibat *(fishbone diagram)*, dan diagram kontrol.

2.3.1. Check Sheet

Check sheet (lembar pemeriksaan) adalah suatu lembar yang dirancang sederhana berisi daftar hal-hal yang perlukan untuk tujuan perekaman data sehingga pengguna dapat mengumpulkan data dengan mudah, sistematis, dan teratur pada saat data itu muncul di lokasi kejadian. Data dalam *check sheet* baik berbentuk data kuantitatif maupun kualitatif dapat dianalisis secara cepat (langsung) atau menjadi masukan data untuk peralatan kualitas lain, misal untuk masukan data diagram pareto. Berikut adalah contoh *check sheet* yang ditunjukkan pada gambar 2.1.

Line Hourly Rejection

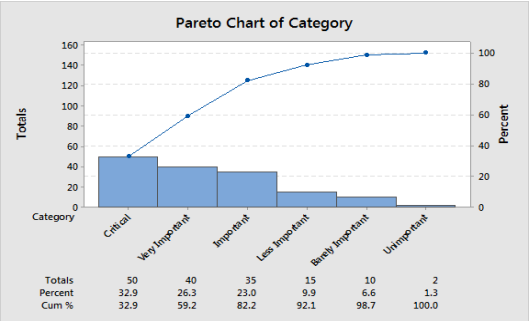
Reject Item	07.00 ~ 08.00	08.00 ~ 09.00	09.00 ~ 10.00	10.00 ~ 11.00
Missing	III		I	
Reverse		II		
Not solder	𝍸	I		
Crack	I	I	I	I
Solder Short		II		I
Shifting	I		I	I

Gambar 2.1 *Check Sheet*

2.3.2. Diagram Pareto

Pareto adalah grafik batang yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya jumlah kejadian. Urutannya mulai dari jumlah permasalahan yang paling banyak terjadi hingga pada permasalahan yang frekuensi terjadinya paling sedikit. Dalam grafik, ditunjukkan dengan batang grafik tertinggi (paling kiri)

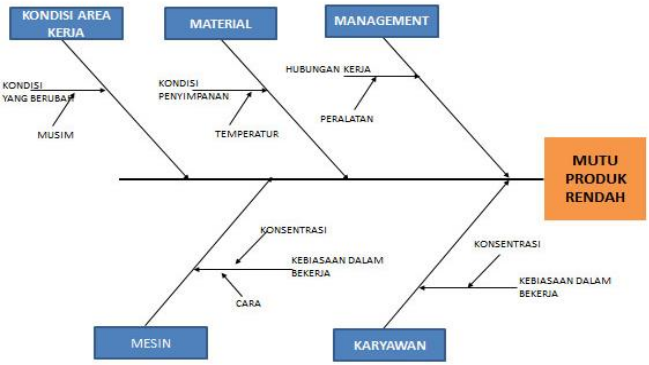
hingga grafik terendah (paling kanan). Berikut adalah contoh diagram pareto yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Pareto

2.3.3. Fishbone Diagram

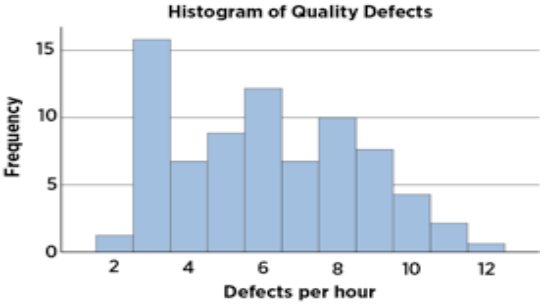
Cause and Effect Diagram adalah alat statistik yang dipergunakan untuk mengidentifikasikan dan menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat agar dapat menemukan akar penyebab dari suatu permasalahan. *Cause and Effect Diagram* dipergunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab dan akibat kualitas yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab tersebut. Karena bentuknya seperti tulang ikan, *Cause and Effect Diagram* sering disebut juga dengan *Fishbone Diagram* (fiagram tulang ikan). Berikut adalah contoh *fishbone diagram* yang ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Fishbone Diagram*

2.3.4. Histogram

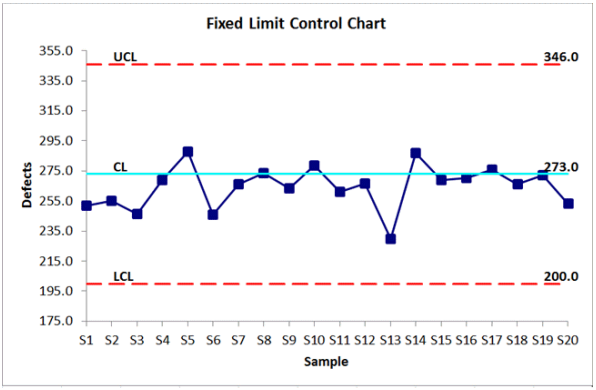
Histogram merupakan tampilan bentuk grafis untuk menunjukkan distribusi data secara visual atau seberapa sering suatu nilai yang berbeda itu terjadi dalam suatu kumpulan data. Manfaat dari penggunaan histogram adalah untuk memberikan informasi mengenai variasi dalam proses dan membantu manajemen dalam membuat keputusan dalam upaya peningkatan proses yang berkesimbungan *(Continous Process Improvement)*. Berikut adalah contoh histogram yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Histogram

2.3.5. Diagram Kontrol

Diagram kontrol *(Control Chart)* merupakan alat statistik yang berbentuk grafik dan dipergunakan untuk memonitor/memantau stabilitas dari suatu proses serta mempelajari perubahan proses dari waktu ke waktu. Diagram kontrol ini memiliki *upper line* (garis atas) untuk *upper control limit* (batas kontrol tertinggi), *lower line* (garis bawah) untuk *lower control limit* (batas kontrol terendah) dan *central line* (garis tengah) untuk *average* (rata-rata). Berikut adalah contoh diagram kontrol yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram Kontrol

2.4. Identitas Gradshteyn & Ryzhik

Identitas Gradshteyn & Ryzhik didefinisikan sebagai berikut [13]:

$$\sum_{k=1}^{n} k^2 a^k = \frac{a + a^2 - (n^2 + 2n + 1)a^{n+1} + (2n^2 + 2n - 1)a^{n+2} - n^2 a^{n+3}}{(1-a)^3} \quad (2.1)$$

dengan,

$\sum_{k=1}^{n}$: penjumlahan berurutan dari $k = 1$ hingga $k = n$

k : indeks penjumlahan ke- $1, 2, 3, \ldots,$ n

n : batas terakhir indeks penjumlahan

a : suku berupa bilangan atau persamaan, $a \neq 1$.

2.5. Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan salah satu jenis distribusi dengan variabel acak yang kontinu dan paling penting baik dalam teori maupun penerapan statistika. Jika *x* suatu variabel random normal, maka distribusi probabilitas *x* adalah:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < x < \infty \qquad (2.2)$$

dimana parameter mean μ dan varians σ^2 dengan $-\infty < x < \infty$ dan $0 < \sigma^2 < \infty$ sebagai persyaratan parameter-parameternya, maka dapat ditulis $X \sim N(\mu;\ \sigma^2)$ [8].

2.6. Hampiran Distribusi Probabilitas

Dalam masalah pengendalian kualitas tertentu, hampiran terhadap antara satu distribusi probabilitas dengan distribusi lainnya dapat membantu dalam keadaan dimana distribusi aslinya sulit untuk dijabarkan secara analitik atau belum ditabelkan dengan baik [1]. Beberapa hampiran probabilitas yang berguna dalam pengendalian kualitas diantaranya sebagai berikut:

1. Hampiran Distribusi Poisson untuk Distribusi Binomial

   Distribusi Poisson dengan mean λ dan variansi λ , dapat diperoleh sebagai bentuk limit dari distribusi Binomial untuk kasus p mendekati nol dan n mendekati tak berhingga dengan $\lambda = np$ konstan. Ini berarti bahwa untuk p kecil dan n besar, distribusi Poisson dapat

digunakan sebagai hampiran distribusi Binomial. Hampiran ini biasanya baik untuk n besar dan $p < 0{,}1$. Jika semakin besar nilai n dan semakin kecil nilai p, maka semakin baik hampiran itu [1].

2. Hampiran Distribusi Normal untuk Distribusi Binomial

   Distribusi binomial didefinisikan sebagai jumlah barisan n percobaan Bernoulli, masing-masing dengan probabilitas sukses p. Apabila banyaknya percobaan n besar, maka dapat menggunakan teorema limit pusat untuk mendukung distribusi normal dengan mean np dan variansi $np(1-p)$ sebagai hampiran untuk distribusi Binomial. Hampiran distribusi normal untuk distribusi Binomial diketahui memuaskan untuk nilai p mendekati $\frac{1}{2}$ dan $n > 10$. Untuk nilai p yang lain, diperlukan nilai n yang lebih besar [1].

3. Hampiran Distribusi Normal untuk Distribusi Poisson

   Jika distribusi normal berguna sebagai hampiran untuk distribusi Binomial, maka distribusi normal dapat juga berguna sebagai hampiran untuk distribusi Poisson. Hal tersebut dikarenakan distribusi Poisson dapat digunakan sebagai hampiran distribusi Binomial. Jika distribusi Poisson memiliki nilai mean $\lambda > 15$, maka distribusi normal dengan mean λ dan variansi λ merupakan hampiran yang memuaskan [1].

2.7. Uji Normalitas

Uji normalitas berguna untuk menentukan apakah data sampel yang telah dikumpulkan berdistribusi normal atau tidak. Untuk pengujian normalitas, salah satu uji statistik normalitas yang dapat digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov [9].

Hipotesis:

H_0: data sampel berdistribusi normal

H_1: data sampel tidak berdistribusi normal

Statistik uji:

$$D_{hitung} = max|S_n(x) - F_0(x)| \quad (2.3)$$

dengan

D_{hitung} : deviasi maksimum

$max|S_n(x) - F_0(x)|$: nilai terbesar dari selisih mutlak $S_n(x)$ dan $F_0(x)$,

$S_n(x)$: probabilitas distribusi kumulatif dari data sampel,

$F_0(x)$: probabilitas distribusi yang dihipotesiskan berdistribusi normal. Kriteria uji:

Jika $D_{hitung} < D_{\alpha,n}$ (nilai $\alpha = 0{,}05$) maka H_0 diterima, yang berarti data sampel yang diamati berdistribusi normal. Untuk nilai kritis uji Kolmogorov-Smirnov dapat dilihat di tabel Kolmogorov-Smirnov.

2.8. *Modified Fast Initial Response* (MFIR)

Fast Initial Response (FIR) diperkenalkan pertama kali oleh Steiner (1999) yang didefinisikan sebagi berikut:

$$FIRadj = 1 - (1 - f)^{1+a(i-1)} \quad (2.4)$$

Fitur ini diperluas menggunakan *modified* FIR *adjustment* (MFIRadj) yang didefinisikan sebagai berikut [4]:

$$MFIRadj = (1 - (1 - f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}} \quad (2.5)$$

dimana f dan a adalah konstanta dengan $a = \frac{1}{19}\left(\frac{-2}{\log_{10}(1-f)-1}\right)$ dan i adalah nomor data pengamatan. Dalam penerapannya, nilai $f = 0{,}5$ dan $a = 0{,}3$ dipilih sebagai rekomendasi dalam menetapkan nilai konstanta tersebut karena memberikan kinerja yang baik pada fitur ini daripada nilai yang lain [1].

2.9. Diagram Kontrol DEWMA

EWMA didefinisikan sebagai berikut:

$$y_i = \lambda x_i + (1-\lambda) y_{i-1} \tag{2.6}$$

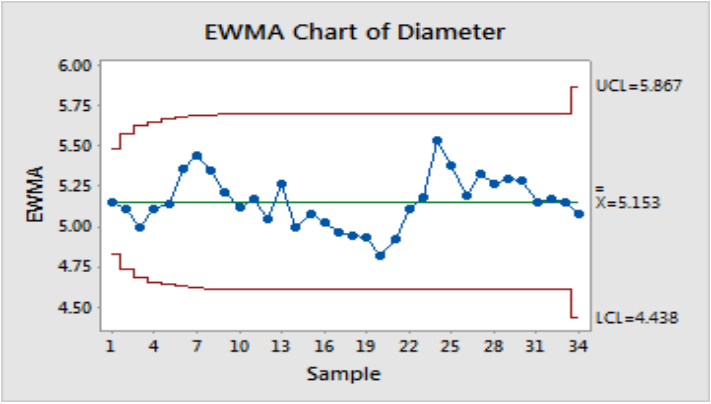
dengan,

y_i : nilai EWMA pengamatan ke-i,

λ : parameter bobot ($0 < \lambda \leq 1$),

x_i : data pengamatan ke- i.

Dalam praktiknya, nilai $\lambda = 0{,}05$, $\lambda = 0{,}1$, dan $\lambda = 0{,}2$ adalah pilihan yang populer dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil [1].



Gambar 2.6. Diagram Kontrol EWMA

Batas kontrol dari peta kendali EWMA adalah:

$$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}(1-(1-\lambda)^{2i})}\,,$$
$$\text{GT} = \mu_0\,, \tag{2.7}$$
$$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}(1-(1-\lambda)^{2i})}\,,$$

atau

$$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}\,,$$
$$GT = \mu_0\,, \tag{2.8}$$
$$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}\,,$$

dengan

L : lebar dari batas kendalinya,

μ_0 : rata-rata observasi,

σ : simpangan baku dari observasi,

λ : parameter bobot,

BKA : batas kendali atas,

GT : titik tengah,

BKB : batas kendali bawah.

Untuk $X_i \sim N(\mu_0, \sigma), i = 1, 2, \dots, n$ statistik diagram kontrol DEWMA z_i didefinisikan sebagai berikut [10]:

$$z_i = \lambda y_i + (1-\lambda) z_{i-1} \tag{2.9}$$

dengan,

z_i : nilai DEWMA pengamatan ke-i,

λ : parameter bobot ($0 < \lambda \leq 1$),

y_i : nilai EWMA pengamatan ke-i.

Batas kontrol dari peta kendali DEWMA adalah:

$$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}},$$
$$GT = \mu_0\,, \tag{2.10}$$
$$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}},$$

dengan

L : lebar dari batas kendalinya,

μ_0 : rata-rata observasi,

σ : simpangan baku dari observasi,

λ : parameter bobot,

BKA : batas kendali atas,

GT : titik tengah,

BKB : batas kendali bawah.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam tahap penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan teori-teori pendukung yang menunjang penulisan ini, yaitu mengenai pengendalian kualitas statistik, alat bantu pengendalian kualitas, diagram kontrol DEWMA, dan *Modified Fast Initial Response* (MFIR). Literatur dapat berupa buku, makalah, jurnal, hasil penelitian sebelumnya, atau berbagai tulisan yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

2. Mengkaji Rumusan Batas Kendali Diagram Kontrol DEWMA dengan MFIR

Berdasarkan studi literatur yang digunakan, pada tahap ini dilakukan pengkajian terhadap rumusan batas kendali diagram kontrol DEWMA dengan MFIR.

3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data sekunder hasil inspeksi produk di PT. Pasific Angkasa Abadi yang menjadi tempat penelitian. Data-data yang diperoleh dalam Tugas Akhir ini bersifat kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif merupakan data berupa angka-angka mengenai jumlah cacat pada produk periode Oktober sampai Desember 2019. Data kualitatif yaitu

data yang berupa informasi tertulis mengenai jenis cacat dan penyebab terjadinya cacat.

4. Analisis Data dan Pembahasan

Pada tahap ini, analisis dilakukan secara perhitungan dan pembuatan diagram kontrol berdasarkan literatur yang digunakan untuk memperoleh kesimpulan yang tepat. Pengolahan data pada Tugas Akhir ini menggunakan bantuan software Microsoft Excel. Adapun langkah-langkah dalam tahap analisis data sebagai berikut:

a. Membuat histogram untuk menunjukkan distribusi data dan cakupan nilai frekuensi dari setiap kejadian cacat.
b. Membuat diagram pareto untuk mengurutkan banyaknya jumlah kejadian cacat dan menentukan prioritas perbaikan.
c. Membuat *fishbone diagram* untuk mencari faktor-faktor penyebab yang dominan.
d. Membuat usulan perbaikan kualitas pada perusahaan untuk mengatasi penyebab cacat.
e. Mengkaji dan membuat diagram kontrol DEWMA dengan MFIR.
f. Menampilkan grafik diagram kontrol DEWMA, DEWMA dengan FIR, dan DEWMA dengan MFIR
g. Menganalisa hasil output dari penerapan diagram kontrol DEWMA dengan MFIR pada produk dengan melihat secara grafis berdasarkan jumlah titik yang berada di luar batas kontrol.

5. Kesimpulan dan Saran

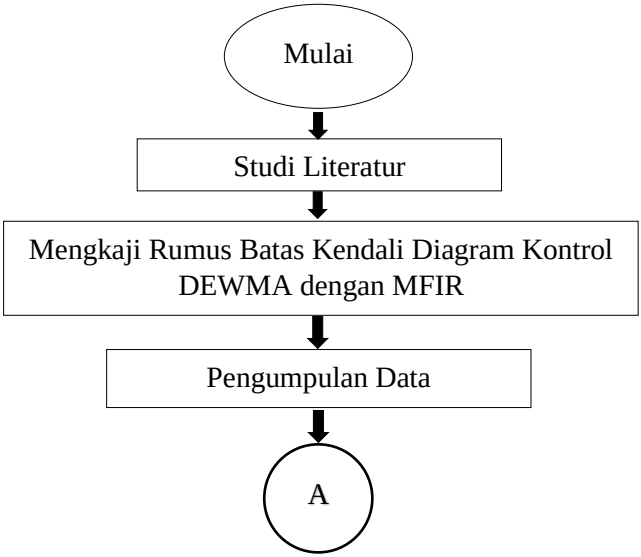
Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan. Kemudian diberikan juga saran-saran, baik untuk perusahaan maupun untuk penelitian selanjutnya.

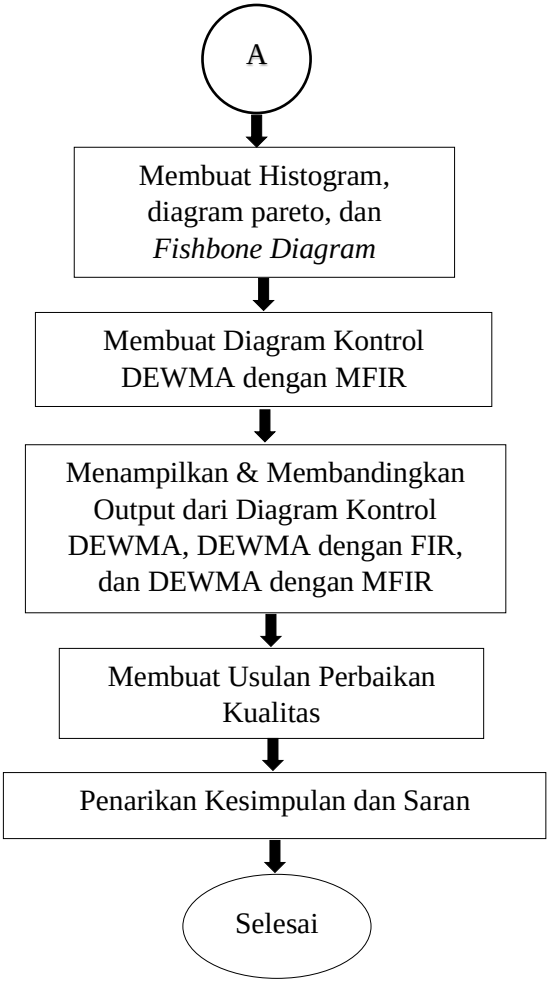
6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Pada tahap ini dilakukan penulisan Tugas Akhir meliputi hasil kajian mengenai permasalahan yang dibahas dalam bentuk laporan Tugas Akhir.

3.2 Diagram Alir

Secara umum tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menyelesaikan penelitian ini sesuai dengan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dilakukan analisis dan pembahasan mengenai kajian rumusan batas kendali diagram kontrol DEWMA MFIR, pembuatan histogram, diagram pareto, fishbone diagram, usulan perbaikan untuk mengatasi penyebab cacat, analisis menggunakan diagram kontrol DEWMA MFIR, serta perbandingan output dari diagram kontrol DEWMA MFIR dengan diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA.

4.1 Mengkaji Rumusan Batas Kendali Diagram Kontrol DEWMA MFIR

Diasumsikan pengamatan dari proses pada variabel acak $X \sim N(\mu_0, \sigma^2)$. DEWMA didefinisikan sebagai berikut [10]:

$$z_i = \lambda y_i + (1-\lambda) z_{i-1} \tag{4.1}$$

dengan

z_i : nilai DEWMA pengamatan ke-i,

λ : parameter bobot ($0 < \lambda \leq 1$),

y_i : nilai EWMA pengamatan ke-i,

dimana dipilih standar inisialisasi $z_0 = y_0 = 0$ untuk semua kasus. EWMA didefinisikan sebagai berikut:

$$y_i = \lambda x_i + (1-\lambda) y_{i-1} \tag{4.2}$$

dengan

y_i : nilai EWMA pengamatan ke-i,

λ : parameter bobot ($0 < \lambda \leq 1$),

x_i : data pengamatan ke- i.

Dari persamaan (4.1) dan (4.2) z_i dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
z_i &= \lambda y_i + (1-\lambda) z_{i-1} \\
&= \lambda(\lambda x_i + (1-\lambda) y_{i-1}) + (1-\lambda)(\lambda y_{i-1} + (1-\lambda) z_{i-2}) \\
&= \lambda^2 x_i + 2\lambda(1-\lambda) y_{i-1} + (1-\lambda)^2 z_{i-2} \\
&= \lambda^2 x_i + 2\lambda(1-\lambda)(\lambda x_{i-1} + (1-\lambda) y_{i-2}) \\
&\quad +(1-\lambda)^2(\lambda y_{i-2} + (1-\lambda) z_{i-3}) \\
&= \lambda^2 x_i + 2\lambda^2(1-\lambda) x_{i-1} + 3\lambda(1-\lambda)^2 y_{i-2} \\
&\quad +(1-\lambda)^3 z_{i-3} \qquad (4.3)
\end{aligned}
$$

Lalu, persamaan (4.3) direkursi untuk z_{i-j}, dengan $j = 4, 5, \dots, (i-1)$ sehingga diperoleh,

$$
\begin{aligned}
z_i &= \lambda^2 x_i + 2\lambda^2(1-\lambda) x_{i-1} + 3\lambda(1-\lambda)^2 y_{i-2} \\
&\quad +(1-\lambda)^3 z_{i-3} \\
z_i &= \lambda^2(x_i + 2(1-\lambda) x_{i-1}) + 3(1-\lambda)^2 x_{i-2} + \cdots \\
&\quad +i(1-\lambda)^{i-1} x_1) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0 \qquad (4.4)
\end{aligned}
$$

Kemudian, persamaan (4.4) dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
z_i &= \left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j \right) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 \\
&\quad +(1-\lambda)^i z_0 \qquad (4.5)
\end{aligned}
$$

Sesuai dengan persamaan (4.5), dapat diketahui nilai mean dari z_i adalah sebagai berikut:

$$
\begin{aligned}
E[z_i] = E\Bigg[&\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j \right) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 \\
&+ (1-\lambda)^i z_0 \Bigg]
\end{aligned}
$$

$$E[z_i] = E\left[\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right)\right] + E\left[i\lambda(1-\lambda)^i y_0\right] + E\left[(1-\lambda)^i z_0\right]$$

$$E[z_i] = \lambda^2 E\left[\left(\sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right)\right] + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0$$

$$E[z_i] = \lambda^2 E\left[i(1-\lambda)^{i-1}x_1 + (i-1)(1-\lambda)^{i-2}x_2 + (i-2)(1-\lambda)^{i-3}x_3 + \cdots + x_i\right] + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0$$

$$E[z_i] = \lambda^2\left(E\left[i(1-\lambda)^{i-1}x_1\right] + E\left[(i-1)(1-\lambda)^{i-2}x_2\right] + E\left[(i-2)(1-\lambda)^{i-3}x_3\right] + \cdots + E[x_i]\right) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0$$

$$E[z_i] = \lambda^2\left(i(1-\lambda)^{i-1}E[x_1] + (i-1)(1-\lambda)^{i-2}E[x_2] + (i-2)(1-\lambda)^{i-3}E[x_3] + \cdots + E[x_i]\right) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0 \quad (4.6)$$

Untuk setiap subgrup, nilai rata-rata yang diharapkan merupakan nilai μ_0. Jika $i = 1, 2, 3, \ldots, n$ maka $E[x_i] = \mu_0$. Sehingga didapat,

$$E[x_1] = E[x_2] = E[x_3] = E[x_i] = \mu_0 .$$

Lalu, jika $i = 1,2,3, \ldots, n$ mendekati tak hingga, maka $i\lambda(1-\lambda)^i y_0 = 0$ dan $(1-\lambda)^i z_0 = 0$ sehingga persamaan (4.6) menjadi:

$$E[z_i] = \lambda^2\left(i(1-\lambda)^{i-1}\mu_0 + (i-1)(1-\lambda)^{i-2}\mu_0 + (i-2)(1-\lambda)^{i-3}\mu_0 + \cdots + \mu_0\right) + 0 + 0$$

$$E[z_i] = \lambda^2(i(1-\lambda)^{i-1} + (i-1)(1-\lambda)^{i-2} + (i-2)(1-\lambda)^{i-3} + \cdots + 1)\mu_0 \quad (4.7)$$

Selanjutnya, akan dicari persamaan dari barisan yang terdapat pada persamaan (4.7) dan diketahui,

$$\sum_{i=0}^{n}(1-\lambda)^i = \frac{1\times(1-(1-\lambda)^n)}{1-(1-\lambda)}$$

$$\sum_{i=0}^{n}(1-\lambda)^i = \frac{(1-(1-\lambda)^n)}{\lambda} \tag{4.8}$$

Lalu, dengan menurunkan persamaan (4.8) didapat suatu persamaan dari barisan yang terdapat pada persamaan (4.7) sebagai berikut:

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \frac{n(1-\lambda)^{n-1}-(1-(1-\lambda)^n)}{\lambda^2}$$

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \frac{(1-\lambda)^{n-1}\big(n+(1-\lambda)\big)-1}{\lambda^2}$$

Berdasarkan referensi pada subbab 2.9 diketahui bahwa $0<\lambda\leq 1 \Leftrightarrow -1\leq -\lambda<0 \Leftrightarrow 0\leq 1-\lambda<1$, sehingga ada suatu $h\in\mathbb{Q}$ berakibat $1-\lambda=\frac{1}{h}$. Jika $i=1,2,3,\dots,n$ mendekati tak hingga, maka nilai $(1-\lambda)^{n-1}$ mendekati nol berakibat nilainya menuju ke nilai limitnya yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \lim_{i\to\infty}\frac{(1-\lambda)^{n-1}\big(n+(1-\lambda)\big)-1}{\lambda^2}$$

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \lim_{i\to\infty}\frac{\left(\frac{1}{h}\right)^{n-1}\big(n+(1-\lambda)\big)-1}{\lambda^2}$$

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \frac{0\big(n+(1-\lambda)\big)-1}{\lambda^2}$$

$$(-1)\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = -\frac{1}{\lambda^2}$$

$$\sum_{i=1}^{n} i(1-\lambda)^{i-1} = \frac{1}{\lambda^2} \tag{4.9}$$

Kemudian substitusikan persamaan (4.9) ke persamaan (4.7) sehingga diperoleh,

$$E[z_i] = \lambda^2\big(i(1-\lambda)^{i-1} + (i-1)(1-\lambda)^{i-2} + (i-2)(1-\lambda)^{i-3} + \cdots + 1\big)\mu_0$$

$$E[z_i] = \lambda^2\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)\mu_0$$

$$E[z_i] = \mu_0 \tag{4.10}$$

Selanjutnya, akan dijabarkan nilai varians dari z_i adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{z_i}^2 = var(z_i)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = var\left(\left(\lambda^2\sum_{j=1}^{i}(i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j}x_j\right) + i\lambda(1-\lambda)^i y_0 + (1-\lambda)^i z_0\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = var\left(\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right)\right) + var\big(i\lambda(1-\lambda)^i y_0\big) + var\big((1-\lambda)^i z_0\big) + 2cov\left(\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1 - \lambda)^{i-j} x_j\right), i\lambda(1-\lambda)^i y_0\right) + 2cov\left(\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right), (1 - \lambda)^i z_0\right) + 2cov\big(i\lambda(1-\lambda)^i y_0, (1-\lambda)^i z_0\big)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = var\left(\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right)\right) + 0 + 0 + 2(0) + 2(0) + 2(0)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = var\left(\left(\lambda^2 \sum_{j=1}^{i} (i-j+1)\,(1-\lambda)^{i-j} x_j\right)\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = (\lambda^2)^2 var\Big(\big(i(1-\lambda)^{i-1} x_1 + (i-1)(1-\lambda)^{i-2} x_2 + (i-2)(1-\lambda)^{i-3} x_3 + \cdots + x_i\big)\Big)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4 \Big(var\big(i(1-\lambda)^{i-1}x_1\big) + var\big((i-1)(1-\lambda)^{i-2}x_2\big) + var\Big((i-2)(1-\lambda)^{i-3}x_3\Big) + \cdots + var(x_i)\Big)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4 \Big(\big(i(1-\lambda)^{i-1}\big)^2 var(x_1) + \big((i-1)(1-\lambda)^{i-2}\big)^2 var(x_2) + \Big((i-2)(1-\lambda)^{i-3}\Big)^2 var(x_3) + \cdots + var(x_i)\Big)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4((i^2(1-\lambda)^{2i-2} + (i-1)^2(1-\lambda)^{2i-4} + (i-2)^2(1-\lambda)^{2i-6} + \cdots + 1)var(x_i)) \quad (4.11)$$

Kemudian, barisan yang terdapat pada persamaan (4.11) dapat dituliskan kembali sebagai berikut:

$$\left(\sum_{j=0}^{i-1}(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-1-j)}\right) =$$

$$\big((i^2(1-\lambda)^{2i-2} + (i-1)^2(1-\lambda)^{2i-4} + (i-2)^2(1-\lambda)^{2i-6} + \cdots + 1\big)$$

$$\left(\sum_{j=0}^{i-1}(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-1-j)}\right) = \left(\sum_{j=0}^{i-1}\frac{(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-j)}}{(1-\lambda)^2}\right)$$

Lalu, akan dicari nilai dari sigma tersebut dan dimisalkan,

$$m = \left(\sum_{j=0}^{i-1}\frac{(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-j)}}{(1-\lambda)^2}\right)$$

sehingga diperoleh,

$$m = \frac{i^2(1-\lambda)^{2i}}{(1-\lambda)^2} + \frac{1}{(1-\lambda)^2}\sum_{j=1}^{i-1}(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-j)}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.1) diperoleh,

$$m = \frac{i^2(1-\lambda)^{2i}}{(1-\lambda)^2} + \frac{1}{(1-\lambda)^2}\left(\frac{(1-\lambda)^2+(1-\lambda)^4-i^2(1-\lambda)^{2i}+(2i^2-2i-1)(1-\lambda)^{2i+2}-(i-1)^2(1-\lambda)^{2i+4}}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{(1-(1-\lambda)^2)^3 i^2(1-\lambda)^{2i}+(1-\lambda)^2+(1-\lambda)^4-i^2(1-\lambda)^{2i}+(2i^2-2i-1)(1-\lambda)^{2i+2}-(i-1)^2(1-\lambda)^{2i+4}}{(1-\lambda)^2(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{\left((1-(1-\lambda)^2)^3-1\right)i^2(1-\lambda)^{2i}+(1-\lambda)^2+(1-\lambda)^4+(2i^2-2i-1)(1-\lambda)^{2i+2}-(i-1)^2(1-\lambda)^{2i+4}}{(1-\lambda)^2(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{(3(1-\lambda)^4-3(1-\lambda)^2(1-\lambda)^6)i^2(1-\lambda)^{2i}+(1-\lambda)^2+(1-\lambda)^4+(2i^2-2i-1)(1-\lambda)^{2i+2}-(i-1)^2(1-\lambda)^{2i+4}}{(1-\lambda)^2(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{(3(1-\lambda)^2-3-(1-\lambda)^4)i^2(1-\lambda)^{2i}+1+(1-\lambda)^2+(2i^2-2i-1)(1-\lambda)^{2i}-(i-1)^2(1-\lambda)^{2i+2}}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{1+(1-\lambda)^2+2i^2(1-\lambda)^{2i+2}-i^2(1-\lambda)^{2i}-i^2(1-\lambda)^{2i+4}-2i(1-\lambda)^{2i}-(1-\lambda)^{2i}+2i(1-\lambda)^{2i+2}-(1-\lambda)^{2i+2}}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$m = \left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}\left((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$\left(\sum_{j=0}^{i-1}\frac{(i-j)^2(1-\lambda)^{2(i-j)}}{(1-\lambda)^2}\right)$$

$$= \left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}\left((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right) \quad (4.12)$$

Kemudian, substitusikan persamaan (4.12) ke persamaan (4.11) dan dimisalkan $var(x_i) = \sigma_{x_i}^2$ sehingga diperoleh,

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4\Big((i^2(1-\lambda)^{2i-2} + (i-1)^2(1-\lambda)^{2i-4} + (i-2)^2(1-\lambda)^{2i-6} + \cdots + 1)var(x_i)\Big)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4 \left(\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}\left((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)\sigma_{x_i}^2\right) \quad (4.13)$$

Selanjutnya, didefinisikan BKA dan BKB untuk diagram kontrol DEWMA yang ditunjukkan sebagai berikut:

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

$$BKA = \mu_0 + L\sqrt{\lambda^4\left(\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)\sigma_{x_i}^2\right)}$$

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{x_i}\sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.14)$$

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

$$BKB = \mu_0 - L\sqrt{\lambda^4\left(\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)\sigma_{x_i}^2\right)}$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{x_i}\sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.15)$$

Diagram kontrol DEWMA FIR dan MFIR dibangun dengan penambahan fitur FIR dan MFIR terhadap diagram kontrol DEWMA. Dengan menyubstitusikan persamaan (2.4) dan (2.5) ke persamaan (4.14) dan (4.15) ditunjukkan BKA dan BKB Diagram kontrol DEWMA FIR dan MFIR sebagai berikut:

- Diagram kontrol DEWMA FIR:

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{x_i}1-(1-f)^{1+a(i-1)}\sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.16)$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{x_i}1-(1-f)^{1+a(i-1)}\sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.17)$$

- Diagram kontrol DEWMA MFIR:

$$BKA = \mu_0 + L\sigma_{x_i}(1-(1-f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}} \sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.18)$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma_{x_i}(1-(1-f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}} \sqrt{\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)} \quad (4.19)$$

Berdasarkan referensi pada subbab 2.9 diketahui bahwa $0 < \lambda \leq 1 \Leftrightarrow -1 \leq -\lambda < 0 \Leftrightarrow 0 \leq 1-\lambda < 1$, sehingga ada suatu $h \in \mathbb{Q}$ berakibat $1-\lambda = \frac{1}{h}$. Jika $i = 1,2,3,\dots,n$ mendekati tak hingga, maka nilai $(1-\lambda)^{2i}$ mendekati nol berakibat nilai varians $\sigma_{z_i}^2$ menuju ke nilai limitnya yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$\sigma_{z_i}^2 = \lim_{i\to\infty}\left(\lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}\left((i+1)^2-\left(2i^2+2i-1\right)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4 \lim_{i\to\infty}\left(\frac{1+(1-\lambda)^2-\left(\frac{1}{h}\right)^{2i}\left((i+1)^2-\left(2i^2+2i-1\right)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \left(\frac{1+(1-\lambda)^2-0\left((i+1)^2-\left(2i^2+2i-1\right)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4\right)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4\left(\frac{1+(1-\lambda)^2}{(1-(1-\lambda)^2)^3}\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4\left(\frac{2-2\lambda+\lambda^2}{(2\lambda-\lambda^2)^3}\right) = \lambda^4\left(\frac{2-2\lambda+\lambda^2}{\left(\lambda(2-\lambda)\right)^3}\right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda^4 \left(\frac{2 - 2\lambda + \lambda^2}{\lambda^3 (2 - \lambda)^3} \right)$$

$$\sigma_{z_i}^2 = \lambda \left(\frac{2 - 2\lambda + \lambda^2}{(2 - \lambda)^3} \right)$$

Dengan demikian, nilai varians $\sigma_{z_i}^2$ akan konstan menuju nilai $\lambda \left(\frac{2-2\lambda+\lambda^2}{(2-\lambda)^3} \right)$ dan persamaan (4.14) dan (4.15) menjadi:

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

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

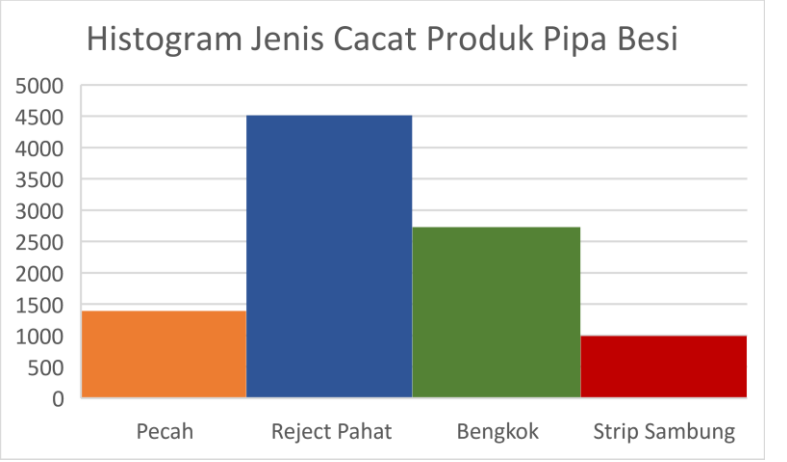
Begitupun pada diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA MFIR yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Batas Kendali Diagaram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR

	Batas Kendali Atas (BKA)	**Batas Kendali Bawah (BKB)**
DEWMA	$\mu_0 + L\sigma_{x_i} \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$	$\mu_0 - L\sigma_{x_i} \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$
DEWMA FIR	$\mu_0 + L\sigma_{x_i}(1 - (1 - f)^{1+a(i-1)}) \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$	$\mu_0 - L\sigma_{x_i}(1 - (1 - f)^{1+a(i-1)}) \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$
DEWMA MFIR	$\mu_0 + L\sigma_{x_i}(1 - (1 - f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}} \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$	$\mu_0 - L\sigma_{x_i}(1 - (1 - f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}} \sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$

4.2 Histogram

Untuk mempermudah dalam pembacaan data pada Lampiran dan menunjukkan distribusi frekuensinya, maka langkah selanjutnya adalah membuat histogram. Data cacat produk pipa besi tersebut disajikan dalam bentuk histogram (diagram batang) berdasarkan jenis cacatnya. Berdasarkan histogram yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, terlihat bahwa jenis cacat yang sering terjadi adalah jenis cacat *reject* pahat dengan jumlah cacat terjadi sebanyak 4517 kali. Selanjutnya adalah jenis cacat pecah, bengkok, dan strip sambung yang secara berturut-turut berjumlah 1395, 2732, dan 993 kali.



Gambar 4.1. Histogram Cacat Produk Pipa Besi PT. Pacific Angkasa Abadi Bulan Oktober - Desember 2019

4.3 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah diagram yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya jumlah kejadian. Urutannya mulai dari jumlah permasalahan yang paling banyak

terjadi hingga pada permasalahan yang frekuensi terjadinya paling sedikit. Permasalahan dengan frekuensi yang paling sedikit inilah yang akan menjadi prioritas dari permasalahan yang harus segera diselesaikan. Dalam grafik, ditunjukkan dengan batang grafik tertinggi (paling kiri) hingga grafik terendah (paling kanan).

Pada Lampiran dapat dilihat jenis-jenis cacat yang sering terjadi pada produk pipa besi PT. Pacific Angkasa Abadi. Jumlah cacat produk pipa besi selama 3 bulan (55 kali produksi) ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jumlah Jenis Cacat Produk Pipa Besi Bulan Oktober - Desember 2019

No.	Jenis Cacat	Jumlah
1	Pecah	1395
2	Reject Pahat	4517
3	Bengkok	2732
4	Strip Sambung	993
	Total	9637

Kemudian, dari Tabel 4.1 diatas akan diurutkan berdasarkan jumlah cacat, mulai dari yang terbesar hingga terkecil serta dibuat presentase kumulatifnya. Presentase kumulatif ini digunakan untuk mengetahui jumlah akhir semua persentase cacat produk pipa besi. Persentase kumulatif didapatkan dengan cara sebagai berikut:

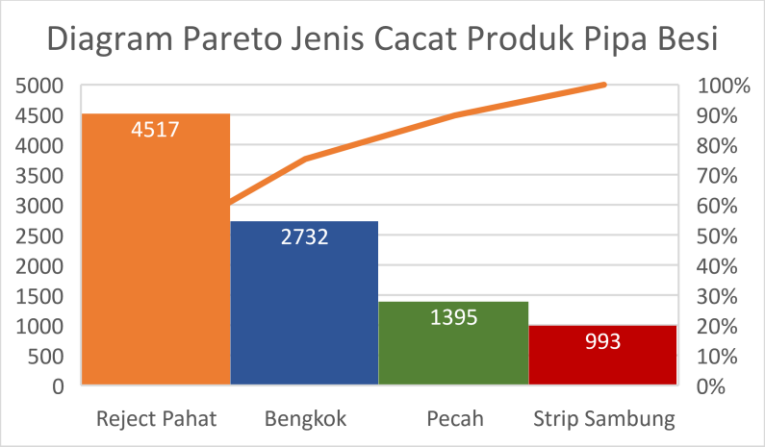
$$presentase\ ke-n = \sum_{i=1}^{n} presentase\ ke-i$$

Hasil perhitungan presentasi kumulatif dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Presentase Cacat Produk Pipa Besi Bulan Oktober - Desember 2019

No.	Jenis Cacat	Jumlah	Presentase	Presentase Kumulatif
1	Reject Pahat	4517	46,88%	46,88%
2	Bengkok	2732	28,34%	75,22%
3	Pecah	1395	14,48%	89,70%
4	Strip Sambung	993	10,3%	100,00%
	Total	9637	100,00%	

Lalu, dari tabel 4.2 diatas dapat dibuat diagram diagram pareto yang ditunjukkan pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2. Diagram Pareto Jenis Cacat Produk Pipa Besi

Dari hasil pengamatan tersebut, terlihat bahwa jenis cacat *reject* pahat merupakan jenis cacat yang paling mendominasi dibandingkan dengan jenis cacat lainnya dengan presentase sebesar 46,88% dari semua jenis cacat yang terjadi. Lalu, disusul

dengan jenis cacat bengkok, pecah, dan strip sambung dengan presentase masing-masing sebesar 28,34%, 14,48%, dan 10,3 %.

Dengan demikian, perbaikan yang harus segera dilakukan adalah menangani jenis cacat *reject* pahat, karena jenis cacat ini merupakan yang terbesar dan mendominasi dari total cacat yang terjadi pipa produk pipa besi PT. Pasific Angkasa Abadi yaitu, sebesar 46,88%.

4.4 *Fishbone Diagram*

Fishbone diagram merupakan alat bantu bertujuan untuk mengidentifikasikan dan menunjukkan faktor-faktor penyebab terjadinya cacat produksi pipa besi pada PT. Pasific Angkasa Abadi. Penggunaan *fishbone diagram* ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan diuraikan masing-masing faktor penyebab sebagai berikut:

1. Faktor Mesin

   Roll merupakan komponen yang berguna untuk mencekungkan pipa besi. Untuk mengganti ukuran pipa saat produksi, ukuran *roll* yang digunakan dalam mencetak pipa besi juga harus diganti. Dengan begitu akan membuat pekerja sering mengganti ukuran *roll* dan harus mengatur ulang ukuran pipa sehingga saat pengaturan awal biasanya pipa besi yang dihasilkan pada percetakan pertama akan cacat. Selain hal tersebut, semakin seringnya *roll* digunakan pada mesin dapat menyebabkan *roll* rusak dan menjadi cembung. Hal ini dapat menyebabkan pipa besi yang diproduksi menjadi pecah karena pipa tidak melingkar secara sempurna. *Ring* merupakan baut pada *roll* yang berfungsi sebagai penahan. Jika *ring* terlalu rapat atau longgar dapat menyebabkan *roll* tidak bekerja dengan baik sehingga dapat mempengaruhi hasil cetakan pipa. Dengan begitu, pekerja harus terus

mengawasi *ring* dengan cara melonggarkan atau merapatkannya dengan obeng agar tingkat kerapatan *ring* sesuai dengan keadaan mesin. Saat proses *forming*, salah satu hal yang menyebabkan pipa cacat adalah kerusakan panel. Panel merupakan mesin yang berfungsi untuk mengatur ukuran pipa besi. Kerusakan panel ini biasanya terdapat pada kabelnya yang disebabkan oleh gigitan tikus. Hal tersebut dapat membuat mesin bekerja tidak optimal sehingga dapat menyebabkan pengaturan pada mesin tidak sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu, dalam proses ini pengelasan yang tidak *balance* (terlalu panas atau dingin) dapat mengakibatkan permukaan pipa menjadi kasar atau biasa disebut dengan *reject* pahat dan lasnya juga buruk.

2. Faktor Material

   Material utama dalam pembuatan pipa besi adalah *coil*. *Coil* yang digunakan dalam proses ini diperoleh langsung dari pabrik *coil* yang terkadang permukaan *coil*-nya tidak rata dan ukurannya tidak sama. Permukaan *coil* yang tidak rata mengakibatkan pipa tidak halus secara sempurna, walaupun juga bergantung dengan kinerja alat pengelasan dan lebar *coil* yang tidak sama mengakibatkan pipa bengkok atau pecah. Selain itu, panjang *coil* yang tidak disesuaikan dengan cetakan panjang pipa dapat mengakibatkan pipa menjadi *strip* sambung.

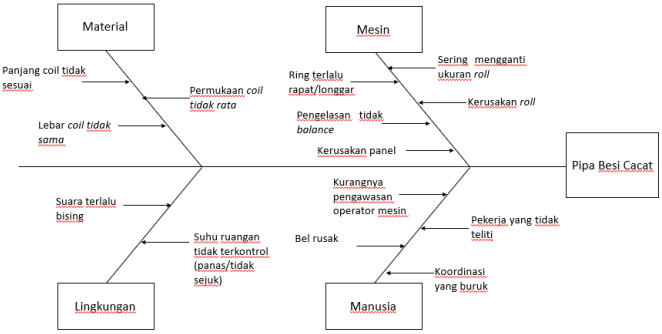
3. Faktor Manusia

   Pekerja yang tidak masuk karena alasan tertentu dapat menyebabkan pekerja lainnya mengawasi lebih dari satu mesin sehingga mengakibatkan pengawasan operator mesin yang berada di lokasi menjadi tidak maksimal seperti biasanya. Selain itu, ketelitian para pekerja juga menjadi hal penting dalam mempengaruhi beberapa hal seperti pengaturan mesin, pengecekan material *coil*, dan

kecerobohan pada proses mengangkat pipa dengan kren. Jika tidak berhati-hati dalam mengangkat pipa dapat menyebabkan pipa bengkok bahkan pecah. Hal lainnya adalah koordinasi antara operator yang satu dengan yang lain kurang maksimal karena bel yang digunakan sebagai penanda jalannya *coil* tidak berfungsi dengan baik sehingga para pekerja hanya menggunakan klakson biasa yang suaranya tidak terlalu keras dan tertutupi dengan suara mesin yang bekerja.

4. Faktor Lingkungan

Selain faktor internal, kecacatan pada produk pipa besi juga dapat disebabkan oleh faktor eksternal yaitu kondisi lingkungan kerja. Jika suara dalam ruangan terlalu bising, dapat mempengaruhi koordinasi antara operator satu dengan lainnya dan membuat operator kurang tanggap jika klakson berbunyi. Selain itu, suhu ruangan dalam lingkungan kerja juga dapat mempengaruhi kinerja operator. Jika suhu ruangan terlalu panas dapat membuat operator merasa tidak nyaman dan kurang maksimal dalam melaksanakan tugasnya.



Gambar 4.3 *Fishbone Diagram* Cacat Produk Pipa besi

4.5 Usulan Tindakan Perbaikan Untuk Mengatasi Penyebab Cacat

Dengan diketahuinya faktor-faktor penyebab cacat produksi pipa besi di PT. Pasific Angkasa Abadi dari analisa sebelumnya, maka langkah selanjutnya akan disusun suatu rekomendasi atau usulan tindakan perbaikan dari setiap faktor guna mengatasi dan mengurangi banyaknya produk cacat yang diuraikan sebagai berikut:

1. Faktor Mesin

   Rekomendasi tindakan perbaikan terhadap faktor mesin dijelaskan sebagai berikut:

   - Pemberian pelumas jenis *grase* pada *bearing*. *Bearing* merupakan bantalan yang terdapat pada *roll*. Dalam ilmu mekanika *bearing* adalah sebuah komponen mesin yang berguna untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak sesuai arah yang diinginkan. *Grase* mempunyai banyak kelebihan antara lain melindungi dari korosi, mencegah kotoran debu dan air yang masuk, dan memiliki jangkauan suhu yang sangat bagus yakni antar $-90\ ^0$C hingga $1200\ ^0$C.
   - Menggunakan mesin *balancing* untuk mengatasi *unbalance* atau ketidakseimbangan yang disebabkan oleh getaran mesin secara berlebih ketika berputar. Manfaat dari mesin ini adalah meminimalisir getaran, memperpanjang umur *bearing*, mengurangi tingkat kebisingan yang timbul dan meminimalisir tegangan pada saat beroperasi.
   - Mengganti kabel panel dengan kabel listrik jenis NYY. Kabel ini mempunyai lapisan isolasi PVC (biasanya warna hitam) serta ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel NYY digunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah) dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel-

kabel biasanya serta mempunyai isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.

2. Faktor Material

   Melakukan pemeriksaan secara visual pada *coil* yang meliputi pengecekan permukaan *coil* dan pengukuran lebar *coil*. Disamping itu, panjang *coil* yang digunakan harus disesuaikan dengan hasil cetakan pipa. Sebagai contoh, misalkan panjang masing-masing pipa 1 meter, maka pemesanan *coil* harus sepanjang kelipatannya sebagai contoh 100 m sehingga cacat *strip* sambung dapat dihindari karena panjang *coil* sudah dihitung sebelumnya.

3. Faktor Manusia

   Usulan tindakan yang dapat dilakukan dari penyebab faktor manusia yaitu melaksanakan *briefing* dan evaluasi secara rutin pada saat awal dan berakhirnya pekerjaan. Selain itu, diberikan juga instruksi/list kerja baik secara lisan maupun tulisan agar lebih terstruktur dan mudah dipahami. Sebaiknya juga digunakan alarm untuk memberikan tanda dari operator yang satu terhadap operator mesin yang lain.

4. Faktor Lingkungan

   Usulan tindakan perbaikan dari penyebab faktor lingkungan dijelaskan sebagai berikut:

   - Penggunaan masker dan kaca mata untuk operator yang sedang bertugas karena terdapat banyak asap yang dikeluarkan dari mesin yang dapat mempengaruhi kesadaran operator.
   - Penggunaan kipas angin yang lebih besar agar asap pada mesin bisa lebih cepat keluar dan suhu ruangan menjadi lebih sejuk sehingga operator merasa tetap nyaman dalam bekerja.

4.6 Analisis Menggunakan Diagram Kontrol

4.6.1 Uji Normalitas

Pada Lampiran B, data sampel yang diambil dari populasi produk pipa besi belum tentu berdistribusi normal. Sebelum melakukan tahapan pembuatan diagram kontrol DEWMA diperlukan uji normalitas untuk memenuhi asumsi distribusi normal. Pada uji normalitas ini menggunakan uji normalitas Kolmogorv – Smirnov, berikut ini uji normalitas Kolmogorov – Smirnov pada produk pipa besi:

Hipotesis:

H_0: data sampel berdistribusi normal

H_1: data sampel tidak berdistribusi normal

Statistik uji:

Berdasarkan persamaan (2.5) dan dengan menentukan $\alpha = 0{,}05$ diperoleh:

$$D_{hitung} = max|S_n(x) - F_0(x)| = 0.157236364$$

$$D_{\alpha;n} = D_{0{,}05;55} = 0{,}180$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh bahwa $D_{hitung} < D_{\alpha;n}$ sehingga H_0 diterima yang berarti data cacat produk pipa besi pada Lampiran B berdistribusi normal. Untuk perhitungan statistik uji normalitas data dapat dilihat pada Lampiran C.

4.6.2 Diagram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR

Pengendalian kualitas produk pipa besi pada tugas akhir ini menerapkan penggunaan diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR guna mengetahui apakah data cacat pada produk pipa besi telah terkendali secara statistik

atau tidak. Adapun langkah-langkah untuk membuat ketiga diagram kontrol tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menghitung *mean* dan standar deviasi data cacat produk pipa besi.

   Pada langkah ini, dilakukan perhitungan *mean* dan standar deviasi dari observasi penelitian ini yaitu data produk cacat pipa besi dimana data tersebut merupakan data atribut. Adapun perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

   $$\hat{\mu} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$
   $$= \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$
   $$= \frac{1}{55}(9637) = 175.2182$$

   dan

   $$\hat{\sigma} = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$
   $$= \sqrt{\frac{1521435.382}{54}}$$
   $$= 167.8533$$

   Rata-rata data cacat produk pipa besi merupakan nilai awal dari EWMA dan DEWMA, yaitu $y_0 = z_0 = \bar{x} = 175.2182$.

2. Melakukan perhitungan masing-masing nilai statistik z_i (Nilai DEWMA)

   Dalam mencari nilai statistik z_i (nilai DEWMA) dari tiap titik plot digunakan persamaan (4.1) dan (4.2). Dalam hal ini, nilai masing-masing statistik z_i saling berkaitan yang berarti bahwa nilai statistik z_1 diperlukan untuk mencari nilai statistik z_2, nilai statistik z_2 diperlukan untuk mencari nilai statistik z_3, dan seterusnya hingga didapatkan nilai statistik

z_{55}. Untuk perhitungan titik plot ke-1 yaitu nilai statistik z_1 sampai dengan titik plot ke-55 yaitu nilai statistik z_{55} dijabarkan sebagai berikut:

a. $y_1 = \lambda x_1 + (1-\lambda) y_0$
$y_1 = (0.25)(80) + (1-0.25)(175.2182)$
$y_1 = 151.4136$

$z_1 = \lambda y_1 + (1-\lambda) z_0$
$z_1 = (0.25)(151.4136) + (1-0.25)(175.2182)$
$z_1 = 169.267$

b. $y_2 = \lambda x_2 + (1-\lambda) y_1$
$y_2 = (0.25)(214) + (1-0.25)(151.4136)$
$y_2 = 167.0602$

$z_2 = \lambda y_2 + (1-\lambda) z_1$
$z_2 = (0.25)(167.0602) + (1-0.25)(169.267)$
$z_2 = 168.7153$

c. $y_3 = \lambda x_3 + (1-\lambda) y_2$
$y_3 = (0.25)(11) + (1-0.25)(167.0602)$
$y_3 = 128.0452$

$z_3 = \lambda y_3 + (1-\lambda) z_2$
$z_3 = (0.25)(128.0452) + (1-0.25)(168.7153)$
$z_3 =158.5478$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama diperoleh nilai statistik z_4 sampai dengan z_{55} yang dapat dilihat pada Lampiran D.

3. Menghitung batas kendali dari masing-masing diagram kontrol (DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR)

Setelah diperoleh nilai statistik z_i (Nilai DEWMA), langkah selanjutnya adalah mencari Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB) dari diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR yang dijabarkan sebagai berikut:

a. Diagram Kontrol DEWMA

Dengan menggunakan persamaan (4.14) dan (4.15) dilakukan perhitungan BKA dan BKB dari diagram kontrol DEWMA sebagai berikut:

- BKA dan BKB dari titik plot ke-1

$$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

$$BKA = 175.2182 + (2.72)(167.8533)\sqrt{(0.25)^4 \frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$

$$BKA = 203.7532$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

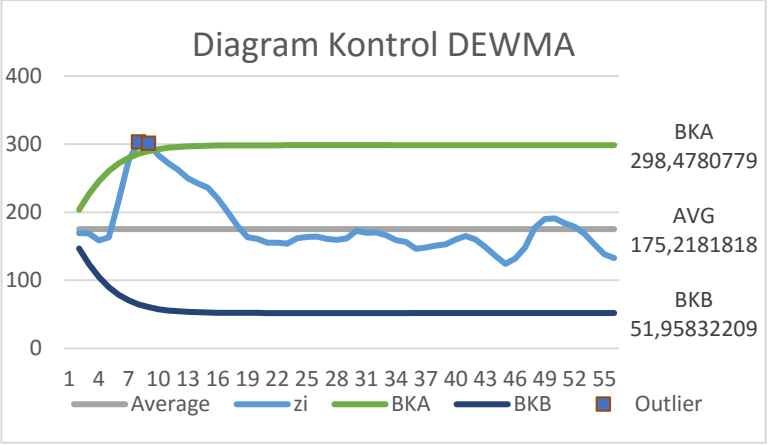
$$BKB = 175.2182 - (2.72)(167.8533)\sqrt{(0.25)^4 \frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$

$$BKB = 146.6831$$

Melalui cara perhitungan yang sama diperoleh BKA dan BKB untuk titik plot ke-2 hingga ke-55 yang dapat dilihat pada Lampiran D. Diagram kontrol DEWMA ditunjukkan pada Gambar 4.4. Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa terdapat 2 titik yang berada diluar BKA yaitu pada titik

plot 7 dan 8 sehingga dapat dikatakan bahwa produk pipa besi belum terkendali secara statistik.

Titik-titik plot yang berada di luar batas kendali atas dan batas kendali bawah diagram kontrol DEWMA menunjukkan bahwa terjadi penyebab-penyebab terduga pada proses produksi pipa besi. Penyebab-penyebab terduga yang mengakibatkan cacat pada produk pipa besi dapat diketahui dengan menggunakan *fishbone* diagram.



Gambar 4.4. Diagram Kontrol DEWMA

b. Diagram Kontrol DEWMA FIR

Dengan menggunakan persamaan (4.16) dan (4.17) dilakukan perhitungan BKA dan BKB dari diagram kontrol DEWMA FIR sebagai berikut:

- BKA dan BKB dari titik plot ke-1

$$BKA = \mu_0 + L\sigma(1-(1-f)^{1+a(i-1)})\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

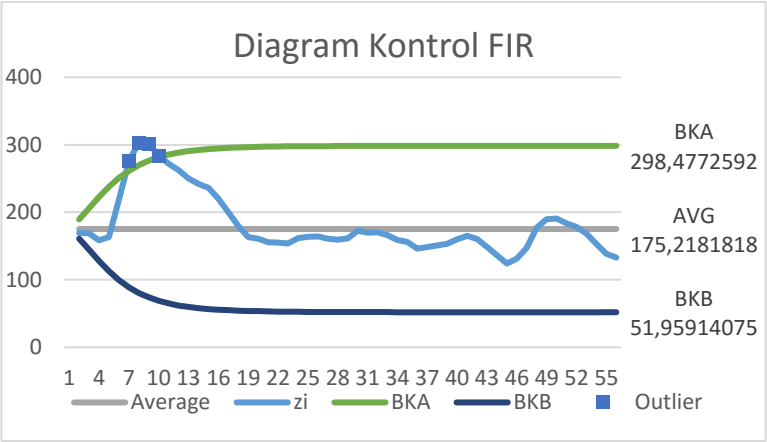
$$BKA = 175.2182 + (2.72)(167.8533)(0.5)$$
$$\sqrt{(0.25)^4 \frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$

$$BKA = 189.4857$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma(1-(1-f)^{1+a(i-1)})$$
$$\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$
$$BKB = 175.2182 - (2.72)(167.8533)(0.5)$$
$$\sqrt{(0.25)^4 \frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$
$$BKB = 160.9507$$

Melalui cara perhitungan yang sama diperoleh BKA dan BKB untuk titik plot ke-2 hingga ke-55 yang dapat dilihat pada Lampiran E. Diagram kontrol DEWMA ditunjukkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa terdapat 2 titik yang berada diluar BKA yaitu pada titik plot 6,7,8, dan 9 sehingga dapat dikatakan bahwa produk pipa besi belum terkendali secara statistik.

Titik-titik plot yang berada di luar batas kendali atas dan batas kendali bawah diagram kontrol DEWMA FIR menunjukkan bahwa terjadi penyebab-penyebab terduga pada proses produksi pipa besi. Penyebab-penyebab terduga yang mengakibatkan cacat pada produk pipa besi dapat diketahui dengan menggunakan *fishbone* diagram.



Gambar 4.5. Diagram Kontrol DEWMA FIR

c. Diagram Kontrol DEWMA MFIR

Dengan menggunakan persamaan (4.18) dan (4.19) dilakukan perhitungan BKA dan BKB dari diagram kontrol DEWMA MFIR sebagai berikut:

- BKA dan BKB dari titik plot ke-1

$$BKA = \mu_0 + L\sigma\,(1-(1-f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}}\sqrt{\lambda^4\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

$$BKA = 175.2182 + (2.72)(167.8533)(0.25)\sqrt{(0.25)^4\frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$

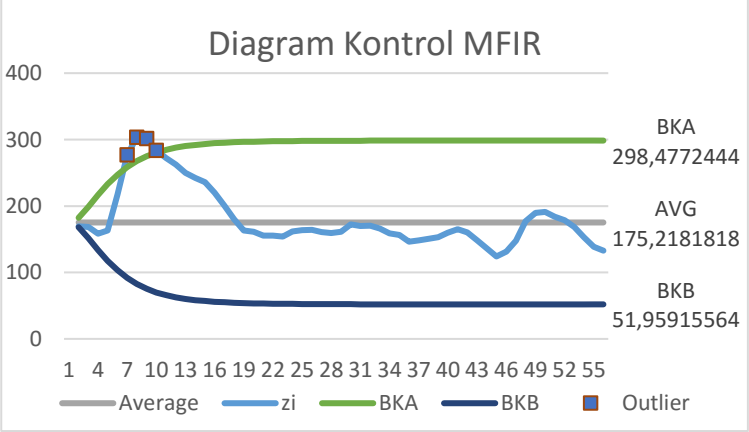
$$BKA = 182.352$$

$$BKB = \mu_0 - L\sigma\,(1-(1-f)^{1+a(i-1)})^{1+\frac{1}{i}}\sqrt{\lambda^4\frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

$$BKA = 175.2182 + (2.72)(167.8533)(0.25)$$
$$\sqrt{(0.25)^4 \frac{1+(1-0.25)^2-(1-0.25)^2((1+1)^2-(2(1)^2+2(1)-1)(1-0.25)^2+(1)^2(1-0.25)^4)}{(1-(1-0.25)^2)^3}}$$
$$BKB = 168.0844$$

Melalui cara perhitungan yang sama diperoleh BKA dan BKB untuk titik plot ke-2 hingga ke-55 yang dapat dilihat pada Lampiran F. Diagram kontrol DEWMA ditunjukkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa terdapat 2 titik yang berada diluar BKA yaitu pada titik plot 6,7,8, dan 9 sehingga dapat dikatakan bahwa produk pipa besi belum terkendali secara statistik.

Titik-titik plot yang berada di luar batas kendali atas dan batas kendali bawah diagram kontrol DEWMA MFIR menunjukkan bahwa terjadi penyebab-penyebab terduga pada proses produksi pipa besi. Penyebab-penyebab terduga yang mengakibatkan cacat pada produk pipa besi dapat diketahui dengan menggunakan *fishbone* diagram.



Gambar 4.6. Diagram Kontrol DEWMA MFIR

4.7 Perbandingan Output dari Diagram Kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR

Pada tahap ini, dilakukan perbandingan presentase jumlah data *out of control* dari diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR. Hal ini bertujuan untuk mengetahui diagram kontrol mana yang lebih efektif dan sensitif dalam mendeteksi *out of control*. Semakin banyak keadaan yang *out of control* yang terdeteksi oleh diagram kontrol, maka semakin baik sensitifitas diagram kontrol tersebut. Presentase jumlah data *out of control* diperoleh dari perhitungan sebagai berikut:

$$presentase = \frac{jumlah\ data\ out\ of\ control}{banyak\ data} \times 100\%$$

Perbandingan presentase jumlah data *out of control* dari data produksi cacat pipa besi pada Lampiran B ditunjukkan dalam tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Perbandingan Presentase Jumlah Data *Out Of Control*

Diagram Kontrol	**Jumlah Data *Out Of Control***	**Presentase**
DEWMA	2	$\frac{2}{55} \times 100\% = 3{,}63\%$
DEWMA FIR	4	$\frac{4}{55} \times 100\% = 7{,}27\%$
DEWMA MFIR	4	$\frac{4}{55} \times 100\% = 7{,}27\%$

Berdasarkan Tabel 4.3 diatas, dapat dilihat bahwa pengendalian kualitas produk pipa besi dengan menggunakan diagram kontrol DEWMA menghasilkan jumlah data *out of control* sebanyak 2 data, sedangkan penerapan diagram kontrol

DEWMA FIR dan DEWMA MFIR menghasilkan jumlah data *out of control* masing-masing sebanyak 4 data. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan diagram kontrol DEWMA cenderung kurang sensitif dalam mendeteksi data *out of control* daripada diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA MFIR karena diagram kontrol DEWMA menghasilkan data *out of control* yang lebih sedikit. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa penambahan fitur FIR maupun MFIR dapat membuat suatu diagram kontrol menjadi lebih sensitif dalam mendeteksi data yang *out of control* sehingga penerapan diagram kontrol DEWMA FIR atau DEWMA MFIR dapat dikatakan lebih cocok dalam proses pengendalian kualitas produk pipa besi pada PT. Pasific Angkasa Abadi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis dan pembahasan pada bab sebelumnya serta diberikan saran baik untuk perusahaan yang bersangkutan maupun penelitian mendatang.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat ditraik suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat awal-awal pengamatan titik plot z_i yaitu di 20 awal pengamatan, batas kendali diagram kontrol DEWMA sebagai berikut:

   $$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

   $$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\lambda^4 \frac{1+(1-\lambda)^2-(1-\lambda)^{2i}((i+1)^2-(2i^2+2i-1)(1-\lambda)^2+i^2(1-\lambda)^4)}{(1-(1-\lambda)^2)^3}}$$

   Namun setelah diagram kontrol DEWMA mencapai periode waktu tertentu yaitu semakin besarnya nilai *i* batas kendali akan menuju nilai konstan menjadi:

   $$BKA = \mu_0 + L\sigma\sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$$

   $$BKB = \mu_0 - L\sigma\sqrt{\frac{\lambda(2-2\lambda+\lambda^2)}{(2-\lambda)^3}}$$

   Begitupun pada batas kendali diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA MFIR, nilainya akan menuju konstan

seperti batas kendali diagram kontrol DEWMA dengan tambahan fitur FIR dan MFIR.

2. Penerapan diagram kontrol DEWMA, DEWMA FIR, dan DEWMA MFIR dalam pengendalian kualitas menunjukkan bahwa produksi pipa besi pada PT. Pacific Angkasa Abadi belum terkendali secara statistik karena masih terdapat titik plot yang berada di luar batas kendali yang menunjukkan bahwa variabilitas pada proses produksi tersebut masih cukup tinggi.
3. Diagram kontrol DEWMA FIR dan DEWMA MFIR memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan diagram kontrol DEWMA karena mampu mendeteksi jumlah data *out of control* lebih sensitif sebesar 3,64%.
4. Diagram kontrol DEWMA MFIR memiliki struktur batas kendali yang paling sensitif dibandingkan kedua diagram kontrol lainnya karena memiliki nilai BKA yang lebih kecil dan BKB lebih besar dibandingkan lainnya sehingga area batas kendalinya menjadi lebih sempit.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis data, pembahasan dan kesimpulan yang telah dilakukan, diberikan beberapa saran pada Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini belum ditunjukkan apakah ada keterkaitan antara jumlah kecacatan, faktor-faktor penyebab kecacatan, dan hasil akhir dari simulasi dengan diagram kontrol sehingga diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat menjelaskan hal tersebut.
2. Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah banyaknya produk cacat yang merupakan total dari beberapa jenis cacat sehingga pada penelitian selanjutnya

dapat digunakan setiap jenis cacat sebagai variabel dengan harapan dapat memberi hasil yang lebih baik.

3. Untuk penelitian yang mendatang, dapat menggunakan hampiran distribusi dalam menentukan nilai mean dan varians sehingga apakah terdapat pengaruh dengan jika menentukan nilai mean dan varians tanpa hampiran distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Montgomery, D.C. (2012). "Introduction to Statistical Quality Control 7th Edition". New York: Wiley.

[2] Ariani, D. W. (2004). Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas). Yogyakarta: Andi.

[3] Rafael Perez Abreu dan Jay R. Schaffer. (2017). "A Double EWMA Control Chart for the Individuals Based on a Linear Prediction". **Journal of Modern Applied Statistical Methods Vol. 16, Issue 2**, Hal 443-457.

[4] Abdul Haq, Jennifer Brown, dan Elena Moltchanova. (2013). "Improved Fast Initial Response Features for Exponentially Weighted Moving Average and Cumulative Sum Control Charts". **Quality and Reliability Engineering International, Vol. 30 Issue 5**, Hal 697-710.

[5] Hidayah, N. (2010). "Kajian Perbandingan Kinerja Grafik Pengendali *Cumulative Sum* (CUSUM) dan *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) dalam Mendeteksi Pergeseran Rata-rata Proses". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[6] 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". Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[7] Yulianti, F. (2017). "Perbandingan Kinerja Diagram Kontrol *Exponentially Weighted Moving Average*

(EWMA) dan *Decision OnBelief* (DOB) pada Pengendalian Kualitas Produk Etiket Rokok Studi Kasus PT. Gudang Garam Direktorat Grafika". Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[8] Montgomery, D.C. (1990). "Pengantar Pengendalian Kualitas Statistik". Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

[9] Massey, F.J. (1951). "The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit". **Journal of the American Statistical Association, Vol.46, No. 253,** Hal 68-78.

[10] Shawky E. Shamma, Amal K. Shamma. (1992). "Development and Evaluation of Control Charts Using Double Exponentially Weighted Moving Averages". **International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 9, No. 6,** Hal 18-25.

[11] Stefan H. Steiner. (1999). "EWMA Control Charts with Time-Varying Control Limits and Fast Initial Response". **Journal of Quality Technology, Vol. 31, No. 1,** Hal 75-86.

[12] Lingyun Zhang & Gemai Chen. (2005). "An Extended EWMA Mean Chart". **Quality Technology & Quantitative Management, Vol. 2, No. 1**, Hal 39-52.

[13] Mahmoud A. Mahmoud & William H. Woodall. (2010). "An Evaluation of the Double Exponentially Weighted Moving Average Control Chart". **Communications in Statistics - Simulation and Computation, Vol. 39, No. 5,** Hal 933-949.

[14] Gradshteyn, I. S. and Ryzhik, I. M. (2007). "Table of Integrals, Series, and Products". USA: Academic Press.

[15] Management Article. (2015). **QC Seven Tools (Tujuh Alat Pengendalian Kualitas),** <URL:https://ipqi.org/qc-seven-tools-tujuh-alat-pengendalian-kualitas/>.

LAMPIRAN A

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

LAMPIRAN A (LANJUTAN)

Tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov

n	$\alpha = 0{,}20$	$\alpha = 0{,}10$	$\alpha = 0{,}05$	$\alpha = 0{,}02$	$\alpha = 0{,}01$
27	0,200	0,229	0,254	0,284	0,305
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
85	0,114	0,131	0,145	0,162	0,174
90	0,111	0,127	0,141	0,158	0,169
95	0,108	0,124	0,137	0,154	0,165
100	0,106	0,121	0,134	0,150	0,161

Pendekatan

n	$1{,}07\sqrt{n}$	$1{,}22\sqrt{n}$	$1{,}35\sqrt{n}$	$1{,}52\sqrt{n}$	$1{,}63\sqrt{n}$
200	0,076	0,086	0,096	0,107	0,115

LAMPIRAN B

Data Produksi Cacat Pipa Besi PT. Pacific Angkasa Abadi Bulan Oktober - Desember 2019

Sampel Ke- (i)	Jenis Cacat				Jumlah Cacat (x_i)
	Pecah	Reject Pahat	Bengkok	Strip Sambung	
1	13	34	20	13	80
2	22	62	109	21	214
3	0	6	4	1	11
4	50	153	89	34	326
5	14	463	385	127	989
6	48	347	206	75	676
7	32	63	47	27	169
8	0	21	10	7	38
9	10	8	6	2	26
10	15	176	41	31	263
11	57	89	38	37	221
12	15	60	57	18	150
13	41	103	56	38	238
14	36	90	47	43	216
15	6	15	8	3	32
16	19	11	12	9	51
17	26	10	6	6	48
18	8	45	33	11	97
19	42	133	58	49	282
20	9	44	23	13	89
21	35	101	53	14	203
22	47	53	18	16	134
23	23	133	89	47	292
24	18	63	26	19	126

LAMPIRAN B (LANJUTAN)

Data Produksi Cacat Pipa Besi PT. Pacific Angkasa Abadi Bulan Oktober - Desember 2019

Sampel Ke- (i)	Jenis Cacat				Jumlah Cacat (x_i)
	Pecah	Reject Pahat	Bengkok	Strip Sambung	
25	4	80	46	20	150
26	10	67	20	8	105
27	19	78	50	23	170
28	19	100	65	20	204
29	50	146	98	29	323
30	5	12	8	2	27
31	46	96	49	14	205
32	10	56	20	6	92
33	14	49	22	8	93
34	20	109	31	22	182
35	5	9	4	1	19
36	56	159	46	9	270
37	41	78	34	17	170
38	23	65	67	9	164
39	24	126	76	13	239
40	60	63	57	3	183
41	13	20	9	0	42
42	3	8	4	1	16
43	10	20	23	2	55
44	10	30	13	3	56
45	83	133	109	26	351
46	60	179	75	7	321
47	39	260	135	47	481
48	20	41	43	5	109

LAMPIRAN B (LANJUTAN)

Data Produksi Cacat Pipa Besi PT. Pacific Angkasa Abadi Bulan Oktober - Desember 2019

Sampel Ke- (i)	Jenis Cacat				Jumlah Cacat (x_i)
	Pecah	Reject Pahat	Bengkok	Strip Sambung	
49	34	26	25	8	93
50	41	17	9	1	68
51	14	60	76	14	164
52	14	36	10	6	66
53	8	2	1	0	11
54	10	23	20	5	58
55	44	86	46	3	179
Total	**1395**	**4517**	**2732**	**993**	**9637**

LAMPIRAN C

Statistik Uji

No.	x_i	Z	$F_0(x)$	$S_n(x)$	$\lvert S_n(x) - F_0(x) \rvert$
1	11	-0,97834	0,1635	0,036364	0,127136364
2	11				
3	16	-0.94856	0.1711	0.054545	0.116554545
4	19	-0.93068	0.1763	0.072727	0.103572727
5	26	-0.88898	0.1867	0.090909	0.095790909
6	27	-0.88302	0.1894	0.109091	0.080309091
7	32	-0.85323	0.1977	0.127273	0.070427273
8	38	-0.81749	0.2061	0.145455	0.060645455
9	42	-0.79366	0.2148	0.163636	0.051163636
10	48	-0.75791	0.2236	0.181818	0.041781818
11	51	-0.74004	0.2296	0.2	0.0296
12	55	-0.71621	0.2358	0.218182	0.017618182
13	56	-0.71025	0.2389	0.236364	0.002536364
14	58	-0.69834	0.242	0.254545	0.012545455
15	66	-0.65068	0.2578	0.272727	0.014927273
16	68	-0.63876	0.2611	0.290909	0.029809091
17	80	-0.56727	0.2843	0.309091	0.024790909
18	89	-0.51365	0.305	0.327273	0.022272727
19	92	-0.49578	0.3085	0.345455	0.036954545
20	93	-0,48982	0,3121	0,381818	0,069718182
21	93				
22	97	-0.46599	0.3192	0.4	0.0808
23	105	-0.41833	0.3372	0.418182	0.080981818
24	109	-0.3945	0.3483	0.436364	0.088063636
25	126	-0.29322	0.3859	0.454545	0.068645455
26	134	-0.24556	0.4052	0.472727	0.067527273

LAMPIRAN C (LANJUTAN)

Statistik Uji

No.	x_i	Z	$F_0(x)$	$S_n(x)$	$\lvert S_n(x) - F_0(x) \rvert$
27	150	-0,15024	0,4404	0,509091	0,068690909
28	150				
29	164	-0,06683	0,4721	0,545455	0,073354545
30	164				
31	169	-0.03705	0.484	0.563636	0.079636364
32	170	-0,03109	0,488	0,6	0,112
33	170				
34	179	0.02253	0.508	0.618182	0.110181818
35	182	0.040403	0.516	0.636364	0.120363636
36	183	0.046361	0.5199	0.654545	0.134645455
37	203	0.165512	0.5636	0.672727	0.109127273
38	204	0.17147	0.5675	0.690909	0.123409091
39	205	0.177428	0.5714	0.709091	0.137690909
40	214	0.231046	0.591	0.727273	0.136272727
41	216	0.242961	0.5948	0.745455	0.150654545
42	221	0.272749	0.6064	0.763636	0.157236364
43	238	0.374028	0.6443	0.781818	0.137518182
44	239	0.379985	0.648	0.8	0.152
45	263	0.522967	0.6985	0.818182	0.119681818
46	270	0.56467	0.7123	0.836364	0.124063636
47	282	0.636161	0.7357	0.854545	0.118845455
48	292	0.695737	0.758	0.872727	0.114727273
49	321	0.868507	0.8078	0.890909	0.083109091
50	323	0.880422	0.8106	0.909091	0.098490909
51	326	0.898295	0.8159	0.927273	0.111372727
52	351	1.047235	0.8531	0.945455	0.092354545

LAMPIRAN C (LANJUTAN)

Statistik Uji

No.	x_i	Z	$F_0(x)$	$S_n(x)$	$\lvert S_n(x) - F_0(x) \rvert$
53	481	1.821721	0.9656	0.963636	0.001963636
54	676	2.983449	0.9987	0.981818	0.016881818
55	989	4.848173	0.9998	1	0.0002

Keterangan:

: Nilai Maksimum

LAMPIRAN D

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
1	80	151.4136	169.267	203.7533	146.6831
2	214	167.0602	168.7153	226.6605	123.7759
3	11	128.0452	158.5478	245.6811	104.7553
4	326	177.5339	163.2943	260.5629	89.8735
5	989	380.4004	217.5708	271.7668	78.66955
6	676	454.3003	276.7532	279.9672	70.46917
7	169	382.9752	303.3087	285.8355	64.60089
8	38	296.7314	301.6644	289.9558	60.4806
9	26	229.0486	283.5104	292.8011	57.63525
10	263	237.5364	272.0169	294.7372	55.69916
11	221	233.4023	262.3633	296.0372	54.39916
12	150	212.5517	249.9104	296.8997	53.53666
13	238	218.9138	242.1612	297.4658	52.97062
14	216	218.1854	236.1673	297.8336	52.60276
15	32	171.639	220.0352	298.0706	52.36581
16	51	141.4793	200.3962	298.222	52.2144
17	48	118.1094	179.8245	298.3181	52.11835
18	97	112.8321	163.0764	298.3786	52.05781
19	282	155.1241	161.0883	298.4165	52.01989
20	89	138.593	155.4645	298.4401	51.99626
21	203	154.6948	155.2721	298.4548	51.98161
22	134	149.5211	153.8343	298.4638	51.97256
23	292	185.1408	161.661	298.4694	51.967
24	126	170.3556	163.8346	298.4728	51.9636
25	150	165.2667	164.1926	298.4749	51.96152
26	105	150.2	160.6945	298.4761	51.96025

LAMPIRAN D (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
27	170	155.15	159.3084	298.4769	51.95949
28	204	167.3625	161.3219	298.4774	51.95902
29	323	206.2719	172.5594	298.4777	51.95874
30	27	161.4539	169.783	298.4778	51.95857
31	205	172.3404	170.4224	298.4779	51.95847
32	92	152.2553	165.8806	298.478	51.95841
33	93	137.4415	158.7708	298.478	51.95838
34	182	148.5811	156.2234	298.478	51.95835
35	19	116.1858	146.214	298.4781	51.95834
36	270	154.6394	148.3204	298.4781	51.95833
37	170	158.4795	150.8602	298.4781	51.95833
38	164	159.8597	153.11	298.4781	51.95833
39	239	179.6447	159.7437	298.4781	51.95832
40	183	180.4836	164.9287	298.4781	51.95832
41	42	145.8627	160.1622	298.4781	51.95832
42	16	113.397	148.4709	298.4781	51.95832
43	55	98.79775	136.0526	298.4781	51.95832
44	56	88.09831	124.064	298.4781	51.95832
45	351	153.8237	131.504	298.4781	51.95832
46	321	195.6178	147.5324	298.4781	51.95832
47	481	266.9634	177.3901	298.4781	51.95832
48	109	227.4725	189.9107	298.4781	51.95832
49	93	193.8544	190.8967	298.4781	51.95832
50	68	162.3908	183.7702	298.4781	51.95832
51	164	162.7931	178.5259	298.4781	51.95832
52	66	138.5948	168.5431	298.4781	51.95832

LAMPIRAN D (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
53	11	106.6961	153.0814	298.4781	51.95832
54	58	94.52209	138.4416	298.4781	51.95832
55	179	115.6416	132.7416	298.4781	51.95832

Keterangan:

: Tidak Terkontrol

LAMPIRAN E

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA FIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
1	80	151.4136	169.267	189.4857	160.9507
2	214	167.0602	168.7153	205.7684	144.668
3	11	128.0452	158.5478	222.437	127.9994
4	326	177.5339	163.2943	237.6954	112.741
5	989	380.4004	217.5708	250.7542	99.68217
6	676	454.3003	276.7532	261.45	88.98636
7	169	382.9752	303.3087	269.9523	80.48413
8	38	296.7314	301.6644	276.5741	73.86234
9	26	229.0486	283.5104	281.6622	68.77415
10	263	237.5364	272.0169	285.5407	64.89574
11	221	233.4023	262.3633	288.4861	61.95035
12	150	212.5517	249.9104	290.7225	59.71392
13	238	218.9138	242.1612	292.4249	58.01145
14	216	218.1854	236.1673	293.7269	56.70951
15	32	171.639	220.0352	294.7284	55.70797
16	51	141.4793	200.3962	295.504	54.93242
17	48	118.1094	179.8245	296.1086	54.32779
18	97	112.8321	163.0764	296.5831	53.85332
19	282	155.1241	161.0883	296.9577	53.47875
20	89	138.593	155.4645	297.255	53.18145
21	203	154.6948	155.2721	297.492	52.94439
22	134	149.5211	153.8343	297.6818	52.75464
23	292	185.1408	161.661	297.8341	52.60228
24	126	170.3556	163.8346	297.9568	52.47962
25	150	165.2667	164.1926	298.0557	52.38066
26	105	150.2	160.6945	298.1357	52.30071

LAMPIRAN E (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA FIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
27	170	155.15	159.3084	298.2004	52.23602
28	204	167.3625	161.3219	298.2528	52.18364
29	323	206.2719	172.5594	298.2952	52.14119
30	27	161.4539	169.783	298.3296	52.10677
31	205	172.3404	170.4224	298.3576	52.07884
32	92	152.2553	165.8806	298.3802	52.05618
33	93	137.4415	158.7708	298.3986	52.03779
34	182	148.5811	156.2234	298.4135	52.02286
35	19	116.1858	146.214	298.4257	52.01074
36	270	154.6394	148.3204	298.4355	52.00089
37	170	158.4795	150.8602	298.4435	51.9929
38	164	159.8597	153.11	298.45	51.9864
39	239	179.6447	159.7437	298.4553	51.98113
40	183	180.4836	164.9287	298.4596	51.97685
41	42	145.8627	160.1622	298.463	51.97337
42	16	113.397	148.4709	298.4659	51.97054
43	55	98.79775	136.0526	298.4682	51.96825
44	56	88.09831	124.064	298.47	51.96639
45	351	153.8237	131.504	298.4715	51.96487
46	321	195.6178	147.5324	298.4728	51.96364
47	481	266.9634	177.3901	298.4738	51.96264
48	109	227.4725	189.9107	298.4746	51.96183
49	93	193.8544	190.8967	298.4752	51.96117
50	68	162.3908	183.7702	298.4758	51.96064
51	164	162.7931	178.5259	298.4762	51.9602
52	66	138.5948	168.5431	298.4766	51.95985

LAMPIRAN E (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA FIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
53	11	106.6961	153.0814	298.4768	51.95956
54	58	94.52209	138.4416	298.4771	51.95933
55	179	115.6416	132.7416	298.4773	51.95914

Keterangan:

: Tidak Terkontrol

LAMPIRAN F

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA MFIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
1	80	151.4136	169.267	182.352	168.0844
2	214	167.0602	168.7153	198.7612	151.6752
3	11	128.0452	158.5478	216.5388	133.8976
4	326	177.5339	163.2943	233.0088	117.4276
5	989	380.4004	217.5708	247.1359	103.3005
6	676	454.3003	276.7532	258.6991	91.73727
7	169	382.9752	303.3087	267.8776	82.5588
8	38	296.7314	301.6644	275.015	75.42137
9	26	229.0486	283.5104	280.4916	69.94476
10	263	237.5364	272.0169	284.6609	65.77554
11	221	233.4023	262.3633	287.8234	62.61296
12	150	212.5517	249.9104	290.2221	60.21431
13	238	218.9138	242.1612	292.0459	58.39049
14	216	218.1854	236.1673	293.4389	56.99753
15	32	171.639	220.0352	294.5089	55.92752
16	51	141.4793	200.3962	295.3361	55.10029
17	48	118.1094	179.8245	295.9799	54.45652
18	97	112.8321	163.0764	296.4841	53.9523
19	282	155.1241	161.0883	296.8814	53.55505
20	89	138.593	155.4645	297.196	53.24041
21	203	154.6948	155.2721	297.4463	52.99005
22	134	149.5211	153.8343	297.6463	52.79008
23	292	185.1408	161.661	297.8066	52.62983
24	126	170.3556	163.8346	297.9353	52.50107
25	150	165.2667	164.1926	298.039	52.3974
26	105	150.2	160.6945	298.1226	52.31378

LAMPIRAN F (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA MFIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
27	170	155.15	159.3084	298.1901	52.24625
28	204	167.3625	161.3219	298.2447	52.19166
29	323	206.2719	172.5594	298.2889	52.14748
30	27	161.4539	169.783	298.3247	52.1117
31	205	172.3404	170.4224	298.3537	52.08272
32	92	152.2553	165.8806	298.3772	52.05924
33	93	137.4415	158.7708	298.3962	52.0402
34	182	148.5811	156.2234	298.4116	52.02476
35	19	116.1858	146.214	298.4242	52.01223
36	270	154.6394	148.3204	298.4343	52.00207
37	170	158.4795	150.8602	298.4426	51.99383
38	164	159.8597	153.11	298.4493	51.98714
39	239	179.6447	159.7437	298.4547	51.98172
40	183	180.4836	164.9287	298.4591	51.97731
41	42	145.8627	160.1622	298.4627	51.97374
42	16	113.397	148.4709	298.4656	51.97083
43	55	98.79775	136.0526	298.4679	51.96848
44	56	88.09831	124.064	298.4698	51.96657
45	351	153.8237	131.504	298.4714	51.96502
46	321	195.6178	147.5324	298.4726	51.96376
47	481	266.9634	177.3901	298.4737	51.96273
48	109	227.4725	189.9107	298.4745	51.9619
49	93	193.8544	190.8967	298.4752	51.96123
50	68	162.3908	183.7702	298.4757	51.96068
51	164	162.7931	178.5259	298.4762	51.96024
52	66	138.5948	168.5431	298.4765	51.95988

LAMPIRAN F (LANJUTAN)

Perhitungan z_i', BKA, dan BKB Diagram Kontrol DEWMA MFIR

Titik Plot	Sampel (x_i)	y_i	z_i	BKA	BKB
53	11	106.6961	153.0814	298.4768	51.95959
54	58	94.52209	138.4416	298.4771	51.95935
55	179	115.6416	132.7416	298.4772	51.95916

Keterangan:

: Tidak Terkontrol

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Muhammad Rizal Fanani yang lahir di Gresik pada tanggal 12 Februari 1998. Penulis menempuh pendidikan formal sejak umur 4 tahun di RA Muslimat Setrohadi, SDN Satria Jaya 03, SMPN 1 Tambun Selatan, SMAN 1 Tambun Selatan hingga sekarang menempuh pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember tepatnya di Departemen Matematika. Selama menempuh pendidikan – pendidikan tersebut, penulis juga mengikuti beberapa organisasi dan kegiatan ekstrakurikuler seperti Kepramukaan dibangku SD, Palang Merah Remaja (PMR) dibangku SMP, dan Futsal dibangku SMA. Sedangkan pada masa sekarang yaitu dibangku perkuliahan penulis pernah mengikuti Himpunan Mahasiswa Departemen yaitu HIMATIKA ITS sebagai staff *Sport & Art Development* (SAD) HIMATIKA ITS 2017/2018 dan menjadi Ketua UKM SEPAKBOLA ITS 2018/2019. Penulis juga pernah aktif dalam kegiatan event selama bangku perkuliahan seperti menjadi Koor. Lapangan IFC 2018 dan Ketua Pelaksana Dies Natalies Ke-58 ITS Cabor Sepak Bola. Jika ingin memberikan saran, kritik, maupun kepentingan lainnya mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui e-mail rizal198.mr@gmail.com. Sekian dan terimakasih.