

**PETA KENDALI *MIXED*
CUMULATIVE SUM EXPONENTIALLY
WEIGHTED MOVING AVERAGE DALAM
PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI BUTSUDAN
DI PT. MARUKI INTERNATIONAL INDONESIA**

SKRIPSI



FITRA DAMAYANTI

H05 1181 005

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
JANUARI 2023**

**PETA KENDALI *MIXED CUMULATIVE SUM* -
EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE DALAM
PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI BUTSUDAN DI
PT. MARUKI INTERNATIONAL INDONESIA**

SKRIPSI

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

**FITRA DAMAYANTI
H051181005**

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

**MAKASSAR
JANUARI 2023**

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

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

Peta Kendali Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average dalam Pengendalian Proses Produksi Butsudan di PT. Maruki

International Indonesia

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

Makassar, 13 Januari 2023



Fitra Damayanti

NIM H051181005

**PETA KENDALI *MIXED CUMULATIVE*
SUM – EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE
DALAM PENGENDALIAN PROSES PRODUKSI BUTSUDAN
DI PT. MARUKI INTERNATIONAL INDONESIA**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.

NIP. 19750429 200003 2 001



Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.

NIP. 19620926 198702 2 001

Ketua Program Studi



Dr. Nurfitri Sunusi, S.Si., M.Si.

NIP. 19720117 199703 2 002

Pada 13 Januari 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fitra Damayanti
NIM : H051181005
Program Studi : Statistika
Judul Skripsi : Peta Kendali *Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average* dalam Pengendalian Proses Produksi Butsudan di PT. Maruki International Indonesia

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

DEWAN PENGUJI

1. Ketua : Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si. (.....)
2. Sekretaris : Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si. (.....)
3. Anggota : Dra. Nasrah Sirajang, M.Si. (.....)
4. Anggota : Dr. Nirwan, M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 13 Januari 2023

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji hanya milik Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala* atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada penulis sampai saat ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa sallam. Alhamdulillahirobbil'aalamiin*, berkat rahmat dan kemudahan yang diberikan oleh Allah *Subhanallahu Wa Ta'ala*, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Peta Kendali Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average dalam Pengendalian Proses Produksi Butsudan di PT Maruki International Indonesia**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis telah melewati perjuangan panjang dan pengorbanan yang tidak sedikit. Namun berkat rahmat dan izin-Nya serta dukungan dari berbagai pihak yang turut membantu sehingga akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan di waktu yang terbaik menurut Allah swt. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya dan penghargaan yang tak terhingga kepada **Bapak Ahmad Tawni (Alm)** dan **Ibunda Ramlah**. Teruntuk Bapak di surga, penulis sangat ingin bercerita mengenai perjalanan pembuatan tugas akhir ini semoga Allah SWT menyampaikan kisah istimewa ini ke Bapak dan Bapak bangga melihat penulis bisa sampai di tahap ini. Terima kasih kepada Ibu atas segala kekuatan, kepercayaan, nasihat, kesabaran dan dukungan material serta do'a yang selalu menyertai setiap langkah penulis. Dan untuk Adik tercinta **Anisa Aulia** terima kasih karena senantiasa membantu penulis dan selalu sabar kepada penulis dengan banyaknya permintaan penulis selama tugas akhir ini dibuat. Serta seluruh keluarga penulis yang menjadi sumber do'a yang tidak pernah terputus mengiringi langkah penulis sejak lahir di dunia ini.

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

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.

2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si.**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Statistika, segenap Dosen Pengajar dan Staf yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
4. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.**, selaku pembimbing utama dan **Ibu Dr. Dr Georgina Maria Tinungki, M.Si.** selaku pembimbing pertama penulis yang telah meluangkan waktunya di tengah kesibukan untuk memberikan arahan, pengetahuan, motivasi dan dan bimbingan di tengah kesibukannya.
5. **Ibu Dra. Nasrah Sirajang, M.Si.** selaku dosen penguji sekaligus penasehat akademik penulis yang telah ikhlas meluangkan waktu dan pemikirannya untuk memberikan arahan, pengetahuan, motivasi.
6. **Bapak Dr. Nirwan, M.Si.** dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritikan yang membangun dalam penyempurnaan penyusunan tugas akhir ini.
7. **Bapak Yusuf** selaku *Supervisor* HRD and EXIM serta seluruh pihak terkait di **PT. Maruki International Indonesia** yang telah membantu dalam usaha penelitian untuk mengumpulkan data penelitian.
8. Sahabat tercinta penulis, **Alfiana Wahyuni, A. Annisa Miftahul Sakinah, Naura Alfatiyya Arda, Marsya Anggun Prisila** dan **Nurul Rezki** yang selalu ada dalam setiap keadaan. Terima kasih telah memberikan segala pelajaran dan banyak penerimaan. Terima kasih telah menjadi sahabat terbaik yang senantiasa mendoakan, mendengarkan keluhan, memberikan dorongan, semangat dan motivasi sejak mahasiswa baru. Semoga bisa mencapai suksesnya masing-masing.
9. Sahabat tersayang penulis, **Rica Rahman** dan **Dian Andriani Talib** yang selalu mendukung dan mengerti penulis. Bertemu dan berteman dengan kalian adalah satu berkat yang penulis sangat syukuri, terima kasih masih selalu ada dan percaya dari jaman sekolah sampai sekarang dan selalu ada waktu berkumpul serta berbagi cerita.

10. Sahabat “KOSER”, **Juni Wahdaniyah** dan **Akidah Amaliah** yang juga selalu menemani penulis dalam setiap keadaan, memberikan motivasi, doa dan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini. Terima kasih karena mengajarkan kuat dalam beberapa hal selama proses perkuliahan, senang mengenal kalian.
11. Teman-teman **INTEGRAL 2018**, terkhusus kepada **Yustika, Fadhil Al-Anshory, Nur Anisa Syahbani Salim, Amalia Andrianingrum, Abdul Jalil Saleh, Muh. Lutfi, Ardi S, Muh. Ainun Luthfi, Fuad Hamdi Bahar, Nasmah Indah Sari, Muhammad Irfan Hamka, Fernando Toding Bua** dan **Ahmad Ilham B.** Terima kasih telah memberikan warna dalam dunia perkuliahan dan mengajarkan arti persaudaraan. Pengalaman berharga telah penulis dapatkan dari teman-teman selama berproses bersama. Tanpa kalian semua, rasanya kehidupan kampus takkan meninggalkan kesan yang sedemikian mendalam.
12. Teman baik penulis, **Sonya** yang sejak awal pemilihan judul tugas akhir ini selalu setia mendengarkan keluh kesah penulis serta memberikan dukungan dan motivasi, terima kasih telah berbagi waktu selama pengerjaan tugas akhir ini. Terima kasih juga kepada **Hajratul Ashwad K, Nur Anugrah Yusuf** dan **Fiska Evryan** menjadi teman baik penulis dari awal perkuliahan sampai saat ini, terima kasih untuk cerita perkuliaannya, senang mengenal kalian.
13. Teman-teman **Statistika 2018** terima kasih atas kebersamaan selama menjalani pendidikan di Departemen Statistika. Terkhusus kepada **Muh. Ishak, Adhiyaksa Prananda RS, Nurul Nur Kholifah, Wardatun Sayyidah, Nur Hidayah L, Victor Liman, Musafir, Kaharuddin, Taufiq Akbar, Sri Indriani Amil, Nova, Kezia Agra Palinoan** dan **La Ade** yang selalu membantu dan menjadi sosok guru bagi penulis. Terima kasih untuk ceritanya selama ini.
14. Keluarga besar **HIMASTAT FMIPA UNHAS** dan **HIMATIKA FMIPA UNHAS**, terimakasih atas seluruh pengalaman, pembelajaran serta telah menjadi keluarga penulis selama masa perkuliahan.
15. **Keluarga Mahasiswa FMIPA Unhas**, terimakasih untuk cerita, pengalaman dan ilmu yang sangat berharga selama penulis berproses di KM FMIPA

Unhas. Terkhusus kepada **Pengurus BEM FMIPA Unhas Periode 2021/2022** terima kasih untuk pengalaman organisasi yang sangat berharga, semoga selalu dengan slogan “Takkan Pudar”.

16. Untuk **Fitra Damayanti** selamat karena telah sampai di tahap ini, terima kasih sudah kuat dan hebat.
17. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih setinggi-tingginya untuk segala dukungan dan partisipasi yang diberikan kepada penulis semoga bernilai ibadah di sisi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.

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

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 13 Januari 2023

Fitra Damayanti

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

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

Nama : Fitra Damayanti
NIM : H051181005
Program Studi : Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

“Peta Kendali *Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average* dalam Pengendalian Proses Produksi Butsudan di PT Maruki International Indonesia”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal, 13 Januari 2023

Yang menyatakan

(Fitra Damayanti)

ABSTRAK

Memonitoring proses produksi merupakan tindakan pengendalian kualitas yang harus dilakukan terus-menerus agar meminimalisir kecacatan. PT Maruki International Indonesia salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, *remaking* atau produk yang dikembalikan adalah permasalahan yang sering dihadapi perusahaan yang disebabkan masih adanya kecacatan produk sehingga dilakukan pengendalian kualitas untuk menyelidiki terjadinya pergeseran rata-rata dengan menggunakan peta kendali. Peta kendali *Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average* (MCE) menjadi alat yang digunakan untuk meningkatkan sensitifitas dari struktur grafik pengendali terutama pada pergeseran rata-rata yang kecil dengan peta kendali *Cumulative Sum* (CUSUM) akan digunakan sebagai input untuk struktur peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Penelitian ini bertujuan untuk memadukan Peta kendali CUSUM dan EWMA untuk menambah kesensitifitas grafik pengendali dalam mendeteksi kejadian *out of control*. Berdasarkan jumlah data *out of control* menunjukkan bahwa peta kendali MCE lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses produksi karena mampu mendeteksi *out of control* lebih banyak dibandingkan dengan peta kendali CUSUM dan peta kendali EWMA. Hal ini diperkuat dengan membandingkan nilai *Average Run Length* (ARL) masing-masing peta kendali yang menunjukkan nilai ARL peta kendali MCE lebih sensitif digunakan untuk mendeteksi *out of control* dibandingkan peta kendali EWMA pada interval pergeseran proses $0 \leq \delta \leq 0,75$ dan $0,1 \leq \lambda \leq 0,5$. Sedangkan pada interval pergeseran $0 \leq \delta \leq 1,5$ dengan $0,1 \leq \lambda \leq 0,5$ peta kendali MCE memiliki tingkat kesensitifitas yang lebih tinggi dalam mendeteksi *out of control* pada data cacat produksi butsudan dibandingkan dengan peta kendali CUSUM.

Kata Kunci: ARL, CUSUM, EWMA, MCE, Pengendalian Kualitas, Peta Kendali.

ABSTRACT

Monitoring the production process is a quality control measure that must carry out continuously to minimize defects. PT Maruki International Indonesia, one of the companies engaged in manufacturing, remaking, or product returns, is a problem often faced by companies due to product defects, so quality control carries out to investigate average shifts using control charts. The Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average (MCE) control chart is a tool used to increase the sensitivity of the control chart structure, especially for small average shifts with the Cumulative Sum (CUSUM) control chart used as input for the Exponentially Weighted control chart structure Moving Averages (EWMA). The combination of CUSUM and EWMA aims to increase the sensitivity of the control chart in detecting out-of-control events. The amount of out-of-control data shows that the MCE control chart is more sensitive in detecting shifts in the production process because it can detect more out of control than the CUSUM control chart and the EWMA control chart. This result strengthens by comparing the Average Run Length (ARL) value of each control chart which shows that the ARL value of the MCE control chart is more sensitive to detect out of control than the EWMA control chart at process shift intervals of $0 \leq \delta \leq 0,75$ and at $0,1 \leq \lambda \leq 0,5$. Whereas at shift intervals of $0 \leq \delta \leq 1,5$ and at $0,1 \leq \lambda \leq 0,5$, the MCE control chart has a higher level of sensitivity in detecting out-of-control in butsudan production defects data compared to the CUSUM control chart.

Keywords: ARL, CUSUM, EWMA, MCE, Quality Control, Control Chart.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	iv
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	vi
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Peta Kendali Shewhart	5
2.2 Peta Kendali <i>Cumulative Sum</i>	5
2.3 Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average</i>	7
2.4 <i>Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average</i>	11
2.5. <i>Average Run Length</i>	12

2.6 Uji Normalitas <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	13
2.7 PT Maruki International Indonesia	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Sumber Data Penelitian.....	15
3.2 Variabel Penelitian	15
3.3 Metodologi Analisis	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Peta Kendali <i>Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average</i>	17
4.2 Penentuan Rata-rata Peta Kendali <i>Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average</i>	18
4.3 Penentuan variansi Peta Kendali <i>Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average</i>	20
4.4 Penentuan Batas Kendali <i>Mixed Cumulative Sum – Exponentially Weighted Moving Average</i>	21
4.5 Uji Normalitas <i>Kolmogorov-Smirnov</i>	22
4.6 Peta Kendali <i>Cumulative Sum</i>	23
4.7 Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average</i>	23
4.7.1 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,1$	24
4.7.2 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,2$	25
4.7.3 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,3$	25
4.7.4 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,4$	26
4.7.4 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,4$	27
4.7.5 Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,5$	28
4.8 Peta Kendali <i>Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average</i> pada <i>Remaking Butsudan PT. Maruki International Indonesia</i> ..	29

4.9 Perbandingan Performa Peta Kendali <i>Cumulative Sum</i> , Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> dan Peta Kendali <i>Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average</i> Berdasarkan Nilai <i>Average Run Length</i>	35
BAB V PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,1$ 30
Gambar 4. 2 Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,2$ 31
Gambar 4. 3 Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,3$ 32
Gambar 4. 4 Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,4$ 33
Gambar 4. 5 Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,5$ 34

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Uji *Kolmogorov - Smirnov*..... 22

Tabel 4. 2 Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali MCE dan Peta Kendali EWMA
..... 35

Tabel 4. 3 Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali MCE dan Peta Kendali CUSUM
..... 37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Remaking produksi Butsudan	42
Lampiran 2. Hasil Perhitungan Uji Normalitas <i>Kolmogorov - Smirnov</i>	44
Lampiran 3. Nilai Kritis Uji Normalitas <i>Kolmogorov - Smirnov</i>	45
Lampiran 4. Perhitungan Nilai CUSUM	46
Lampiran 5. Perhitungan Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,1$	48
Lampiran 6. Perhitungan Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,2$	50
Lampiran 7. Perhitungan Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,3$	52
Lampiran 8. Perhitungan Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,4$	54
Lampiran 9. Perhitungan Peta Kendali EWMA untuk $\lambda = 0,5$	56
Lampiran 10. Perhitungan Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,1$	58
Lampiran 11. Perhitungan Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,2$	60
Lampiran 12. Perhitungan Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,3$	62
Lampiran 13. Perhitungan Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,4$	64
Lampiran 14. Perhitungan Peta Kendali MCE untuk $\lambda = 0,5$	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin pesatnya perkembangan Ilmu dan Teknologi (IPTEK) di era globalisasi ini, menyebabkan meningkatnya persaingan di berbagai bidang, salah satunya dalam bidang industri. Dalam peningkatan persaingan di bidang industri, banyak perusahaan yang berlomba-lomba dalam meningkatkan kualitas di perusahaan masing-masing, diantaranya kualitas dari segi proses produksi (Yulianti, 2017). Permasalahan kualitas telah mengarah pada taktik dan strategi perusahaan untuk memiliki daya saing dan bertahan terhadap persaingan global dengan perusahaan lain. Setiap perusahaan akan berlomba-lomba menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang baik untuk konsumen. Namun pada kenyataannya, seringkali terjadi ketidakpuasan konsumen terhadap suatu produk karena kualitasnya yang kurang baik (Wijayanti dkk., 2020). Masing-masing perusahaan harus memiliki perencanaan yang baik terhadap produk yang dihasilkannya untuk menghindari adanya kesalahan-kesalahan pada proses produksi yang mengakibatkan penurunan kualitas produk.

Kualitas suatu produk adalah keadaan hasil produksi yang mampu memenuhi kebutuhan konsumen, produk yang berkualitas akan memberikan kepuasan bagi konsumen, sehingga mampu mempertahankan pelanggan yang ada serta menambah pelanggan baru. Mempertahankan kualitas menjadi tantangan bagi perusahaan dalam memenangkan persaingan karena hasil produksi yang berkualitas menjadi kriteria utama bagi konsumen dalam memilih produk (Hamsah dkk., 2019). PT Maruki International Indonesia Makassar merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dengan produk utama yaitu Butsudan. Butsudan adalah ruang suci kecil berwujud lemari kayu dengan pintu untuk menyimpan suatu benda keagamaan, biasanya patung atau lukisan Buddha. Sistem produksi pada perusahaan yaitu berdasarkan pesanan (*make to order*) dari kantor pusat di Jepang. Proses produksi akan menjadi perhatian khusus untuk menjaga kepercayaan pelanggan dan mengurangi kerugian yang akan dialami perusahaan. Permasalahan yang sering dihadapi oleh perusahaan yaitu masih adanya produk cacat yang disebabkan karena kerusakan material atau kurangnya ketelitian pekerja saat proses

produksi, hal ini yang menyebabkan produk dikembalikan atau disebut *remaking*. Sehingga diperlukan suatu penanganan proses produksi yang dikenal dengan pengendalian kualitas statistik terhadap hasil produksi. Pengendalian kualitas terhadap proses produksi harus dilakukan terus-menerus agar meminimalisir kecacatan. Adapun alat yang dapat digunakan dalam pengendalian kualitas yaitu peta kendali.

Peta kendali merupakan teknik pengamatan terhadap grafik dengan tujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi. Pengamatan dengan grafik ini akan menjadi pedoman produsen untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas produk agar sesuai dengan standar spesifikasi yang ada. Peta kendali yang sering digunakan adalah peta kendali Shewhart (Wijayanti dkk., 2020). Peta kendali Shewhart pertama kali ditemukan oleh Dr. Walter Andrew Shewhart pada tahun 1924, peta kendali ini dapat mengontrol proses dengan data atribut maupun variable. Dalam melakukan pengendalian proses, peta kendali Shewhart hanya menggunakan informasi dari nilai data akhir dan mengabaikan informasi lain yang terdapat dalam keseluruhan data. Hal tersebut menyebabkan peta kendali Shewhart kurang efektif dalam mendeteksi proses pergeseran yang kecil (Prihatni dkk., 2018). Untuk mengatasi kelemahan peta kendali Shewhart, maka dikembangkan peta kendali *Cumulative Sum* (CUSUM) yang ditemukan oleh Page pada tahun 1954 dan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) yang ditemukan oleh Robert pada tahun 1959 (Montgomery DC, 2009).

Penggunaan peta kendali CUSUM dan EWMA dalam mendeteksi pergeseran-pergeseran kecil pada produksi telah dibahas oleh beberapa ahli diantaranya Montgomery (2009) yang mengusulkan peta kendali CUSUM sebagai alternatif terhadap peta kendali Shewhart, dimana CUSUM menghimpun secara langsung semua informasi dalam barisan nilai-nilai sampel dari nilai target. Sedangkan peta kendali EWMA untuk memonitor pergeseran kecil pada *mean*. Penelitian lainnya dilakukan oleh utami (2018) dengan memperoleh perbandingan kinerja peta kendali Shewhart, CUSUM, dan EWMA dalam mendeteksi pergeseran nilai rata-rata proses. Hasilnya menunjukkan bahwa peta kendali EWMA memiliki kinerja pendeteksian lebih baik di berbagai nilai pergeseran. Pada tingkat pergeseran kecil $0,5\sigma$ peta kendali CUSUM memiliki kemampuan deteksi sama baiknya dengan peta

kendali EWMA, hanya saja peta kendali EWMA lebih mudah dalam penggunaannya. Penelitian lainnya dilakukan oleh Hidayah (2010) mengenai kinerja grafik peta kendali CUSUM dan peta kendali EWMA terhadap pergeseran rata-rata yang kecil yaitu kurang dari $1,5\sigma$ diindikasikan jika pada pergeseran rata-rata antara 1σ sampai $1,5\sigma$ peta kendali yang efektif dalam memberikan kinerja terbaik adalah peta kendali CUSUM, namun pada pergeseran rata-rata kurang dari $1,0\sigma$ peta kendali EWMA menampilkan pendeteksian yang lebih baik daripada peta kendali CUSUM. Berdasarkan uraian tersebut, diketahui masing-masing peta kendali memiliki kekurangan dan kelebihan. Zaman dkk (2014) merekomendasikan *Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average* (MCE) untuk meningkatkan sensitifitas dari struktur grafik pengendali terutama pergeseran rata-rata proses yang kecil.

Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian mengenai *Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average* (MCE) dengan peta kendali CUSUM akan digunakan sebagai input untuk struktur EWMA. Perpaduan CUSUM dan EWMA bertujuan menambah kesensitifitasan grafik pengendali dalam mendeteksi kejadian *out of control*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mendapatkan peta kendali *Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average* (MCE) pada data *remaking* Butsudan PT. Maruki International Indonesia?
2. Bagaimana perbandingan performa peta kendali CUSUM EWMA dan MCE pada proses produksi Butsudan di PT Maruki International Indonesia?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu data yang digunakan adalah data *remaking* Butsudan PT. Maruki International Indonesia pada masa produksi bulan Januari 2017 – Desember 2021.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diselesaikan, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mendapatkan peta kendali *Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average* (MCE) dan menerapkannya pada data *remaking* Butsudan PT. Maruki International Indonesia.
2. Membandingkan performa peta kendali CUSUM EWMA dan MCE pada proses produksi Butsudan di PT Maruki International Indonesia.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini, yaitu:

1. Memperoleh pengetahuan mengenai kinerja grafik kendali *Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average* (MCE).
2. Memberikan informasi tambahan pada PT. Maruki International Indonesia mengenai kualitas produksi butsudan agar dapat meningkatkan kualitasnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peta Kendali Shewhart

Salah satu alat terpenting dalam pengendalian kualitas adalah peta kendali. Metode yang paling umum dalam pengendalian kualitas secara statistik ialah dengan menggunakan peta kendali Shewhart. Peta kendali Shewhart pertama kali dikemukakan oleh Dr. Walter A Shewhart pada tahun 1942 dan dapat digunakan pada data atribut maupun variabel dalam pengendalian proses. Peta kendali terdiri atas *Centel Line* (CL) yang merupakan nilai rata-rata dari karakteristik kualitas yang akan menjadi pangkal perhitungan terjadinya penyimpangan hasil-hasil pengamatan tiap sampel. *Upper Control Limit* (UCL) dan *Low Control Limit* (LCL) yang merupakan batas kendali untuk suatu penyimpangan yang masih dapat ditoleransi (Sudjana, 2013).

Jika titik-titik berada di dalam batas-batas kendali, maka proses dapat dikatakan dalam keadaan terkendali, sehingga proses dibiarkan berlangsung. Tetapi, jika terdapat satu titik yang terletak di luar batas-batas kendali maka dianggap proses dalam keadaan tidak terkendali. Peta kendali dapat dikatakan lebih sensitif apabila dapat mendeteksi jumlah data yang *out of control* yang lebih banyak.

2.2 Peta Kendali *Cumulative Sum*

Peta kendali *cumulative Sum* (CUSUM) adalah teknik analisis data untuk menentukan apakah proses pengukuran telah keluar dari kendali statistik. Peta kendali CUSUM digunakan sebagai alternatif peta kendali Shewhart. Peta kendali ini menghimpun secara langsung semua informasi di dalam barisan nilai nilai sampel dengan menggambarkan jumlah kumulatif deviasi nilai sampel dari nilai target (Chaerunnisa, 2017). Misalkan X adalah variabel acak dari proses yang berdistribusi normal dengan rata-rata ketika proses terkendali μ_0 sedangkan rata-rata ketika proses tidak terkendali μ_1 dengan variansi σ^2 (Wijayanti, 2020). Jika untuk memonitor rata-rata proses μ_0 diambil sampel selama m periode dengan ukuran sampel $n \geq 1$, maka dengan \bar{x}_i adalah rata-rata dari sampel ke- i , peta kendali CUSUM dibentuk dengan rumus sebagai berikut (Montgomery, 2009):

$$C_m = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \mu_0) \quad (2.1)$$

dengan C_i merupakan nilai CUSUM sampai dengan sampel ke- m .

Peta kendali CUSUM berfungsi untuk mendeteksi pergeseran rata-rata proses dari target. Adapun cara untuk mempresentasikan CUSUM, yaitu menggunakan tabular CUSUM. Kinerja peta pengendali CUSUM apabila terjadi pergeseran proses rata-rata target yang telah ditentukan ia akan memberikan sinyal dan pendeteksian (Resti dkk., 2021).

Tabular CUSUM bekerja dengan cara mengakumulasikan deviasi dari μ_0 yang berada di atas nilai target dengan statistik C^+ dan mengakumulasikan deviasi dari μ_0 yang berada di bawah target dengan statistik C^- . Jika nilai awal $C_0^+ = C_0^- = 0$, maka C_i^+ dan C_i^- dapat dirumuskan sebagai berikut (Montgomery, 2009):

$$C_i^+ = \max [0; x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (2.2)$$

$$C_i^- = \max [0; (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \quad (2.3)$$

Nilai K pada Persamaan (2.2) dan (2.3) disebut sebagai nilai referensi biasanya dipilih setengah antara nilai target μ_0 dan nilai rata-rata *out of control* μ_1 (Montgomery, 2009). Jadi, jika pergeseran (δ) dinyatakan dalam satuan standar deviasi, maka $\mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ atau $\delta = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma}$, maka k adalah setengah dari besarnya pergeseran atau $K = \frac{\delta}{2}\sigma = k\sigma$.

Keterangan:

δ : pergeseran yang mungkin terjadi

$\bar{x}_i = \frac{\sum_j^n x_{ij}}{n}$: rata-rata sampel ke- i

μ_0 : rata-rata target

σ : standar deviasi target

K : *reference value*

Rumus batas pengendali diagram ini adalah:

$$Upper Central Limit (UCL) = h\sigma$$

$$Central Limit (CL) = 0$$

$$Lower Central Limit (LCL) = h\sigma$$

Tabular CUSUM dirancang dengan menghitung nilai referensi K dan interval keputusan H . Untuk kaidah keputusannya, jika salah satu dari nilai C_i^+ atau C_i^- melebihi nilai kritis H maka proses dikatakan *out of control* (Montgomery, 2009).

$$K = k\sigma \tag{2.4}$$

$$H = h\sigma \tag{2.5}$$

diketahui bahwa μ_0 adalah nilai rata-rata target, dengan h dan k adalah konstanta. Nilai h dan k yang digunakan pada penelitian ini diambil berdasarkan hasil rekomendasi Montgomery (2009) dimana h sebesar 4 atau 5 dan nilai referensi $k = \frac{1}{2}$ umumnya memberikan kinerja yang baik terhadap performa ARL pada pergeseran 1σ dalam rata-rata proses.

2.3 Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average*

Peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) pertama kali diperkenalkan oleh Roberts pada tahun 1959. Peta kendali EWMA optimal bagi prosesnya dengan meannya dalam periode t yang berhubungan dengan *mean* dalam periode $(t-1)$ (Montgomery, 1991). Cara kerja peta kendali EWMA yaitu dengan tidak hanya mempertimbangkan sampel terakhir sebagai titik yang diamati, tetapi juga menggabungkan informasi dalam barisan nilai sampel sebelumnya untuk memperoleh titik observasi yang nantinya akan diamati pada grafik. Jika diasumsikan sampel dari proses dengan variabel $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, maka peta kendali EWMA dapat didefinisikan sebagai berikut (Wijayanti, 2020):

$$Z_t = \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} \tag{2.6}$$

Z_t = Rata-rata dari data produksi bulanan (nilai EWMA) $t = 1, 2, 3, \dots, n$

λ = Faktor pembobot yang bernilai $0 < \lambda \leq 1$

X_t = Nilai hasil produksi pada waktu (sampel) ke- t $t = 1, 2, 3, \dots, n$

Z_{t-1} = Rata-rata dari data produksi bulanan sebelumnya

Nilai Z_0 merupakan nilai awal yang digunakan untuk mendapatkan nilai EWMA pada sampel pertama atau nilai yang diharapkan pada hasil produksi. Nilai Z_0 dapat diperoleh dari nilai rata-rata proses yang diamati, yaitu (Montgomery, 2009):

$$Z_0 = \bar{X} = \frac{\sum_{t=1}^n X_t}{n}$$

Dari Persamaan (2.6), Z_t dapat dijabarkan menjadi (Yulianti, 2018):

$$Z_t = \lambda X_t + (1 - \lambda)Z_{t-1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \lambda X_t + (1 - \lambda)[\lambda X_{t-1} + (1 - \lambda)Z_{t-2}] \\
 Z_t &= \lambda X_t + \lambda(1 - \lambda)X_{t-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 X_{t-2} + (1 - \lambda)^3 Z_{t-3} \quad (2.7)
 \end{aligned}$$

Selanjutnya Persamaan (2.7) direkursif untuk Z_{t-j} dengan $j = 4, 5, 6, \dots, (t - 1)$ sehingga diperoleh:

$$Z_t = \lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} + (1 - \lambda)^t Z_0 \quad (2.8)$$

Berdasarkan Persamaan (2.8) nilai rata-rata dari Z_t yaitu:

$$\begin{aligned}
 E(Z_t) &= E \left[\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} + (1 - \lambda)^t Z_0 \right] \\
 E(Z_t) &= \lambda \{ E[X_t] + (1 - \lambda)^1 E[X_{t-1}] + (1 - \lambda)^2 E[X_{t-2}] \\
 &\quad + (1 - \lambda)^3 E[X_{t-3}] + \dots + (1 - \lambda)^{t-1} E[X_1] \} + (1 - \lambda)^t Z_0 \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

Nilai rata-rata untuk setiap subgroup yang diinginkan adalah nilai Z_0 . Apabila $t = 1, 2, 3, \dots, n$, maka $E[X_t] = Z_0$. Sehingga diperoleh bentuk matematis $E[X_t] = E[X_{t-1}] = E[X_{t-2}] = \dots = E[X_1] = Z_0$. Selanjutnya Persamaan (2.9) menjadi:

$$\begin{aligned}
 E[Z_t] &= \lambda \{ Z_0 + (1 - \lambda)^1 Z_0 + (1 - \lambda)^2 Z_0 + (1 - \lambda)^3 Z_0 + \dots + \\
 &\quad (1 - \lambda)^{t-1} Z_0 \} + (1 - \lambda)^t Z_0 \\
 E[Z_t] &= \lambda \{ 1 + (1 - \lambda)^1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^3 + \dots + \\
 &\quad (1 - \lambda)^{t-1} \} Z_0 + (1 - \lambda)^t Z_0 \quad (2.10)
 \end{aligned}$$

Bentuk matematis $\{1 + (1 - \lambda)^1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^3 + \dots + (1 - \lambda)^{t-1}\}$ pada Persamaan (2.10) membentuk deret geometri dengan nilai awal $a = 1$. Perbandingan nilai kedua dengan nilai awal yaitu $r = (1 - \lambda)$ dan banyaknya yaitu $n = t$. Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j &= \frac{a(1 - r^n)}{1 - r} \\
 &= \frac{1(1 - (1 - \lambda)^t)}{1 - (1 - \lambda)} = \frac{(1 - (1 - \lambda)^t)}{\lambda} \quad (2.11)
 \end{aligned}$$

Kemudian Persamaan (2.11) disubstitusikan ke Persamaan (2.10), sehingga diperoleh rata-rata dari EWMA sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E[Z_t] &= \lambda \{ 1 + (1 - \lambda)^1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^3 + \dots + \\
 &\quad (1 - \lambda)^{t-1} \} Z_0 + (1 - \lambda)^t Z_0 \\
 &= \lambda Z_0 \left[\frac{(1 - (1 - \lambda)^t)}{\lambda} \right] + (1 - \lambda)^t Z_0 \\
 &= Z_0 (1 - (1 - \lambda)^t) + (1 - \lambda)^t Z_0 \\
 &= Z_0 - Z_0 (1 - (1 - \lambda)^t) + (1 - \lambda)^t Z_0 \\
 &= Z_0
 \end{aligned}$$

Diperoleh nilai ekspektasi dari EWMA yaitu Z_0 , sehingga $\mu = Z_0$.

Setelah diperoleh nilai ekspektasi EWMA dari Persamaan (2.8) dapat diestimasi nilai variansi Z_t sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{Z_t}^2 &= var(Z_t) \\
 &= var \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} + (1 - \lambda)^t Z_0 \right) \\
 &= var \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} \right) + var((1 - \lambda)^t Z_0) \\
 &\quad + 2cov \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j}, (1 - \lambda)^t Z_0 \right) \\
 &= var \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} \right) + 0 + 2(0) \\
 &= var \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} \right) \\
 &= \lambda^2 var \left(\lambda \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^j X_{t-j} \right) \\
 &= \lambda^2 \{ var(X_t + (1 - \lambda)^1 X_{t-1} + (1 - \lambda)^2 X_{t-2} + \\
 &\quad (1 - \lambda)^3 X_{t-3} + \dots + (1 - \lambda)^{t-1} X_1 \} \\
 &= \lambda^2 \{ 1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^4 + (1 - \lambda)^6 + \dots + \\
 &\quad (1 - \lambda)^{2(t-1)} \} var(X_t)
 \end{aligned}$$

$$(2.12)$$

Jika dimisalkan $var(X_t) = \sigma_{X_t}^2$, maka pada Persamaan (2.12) menjadi:

$$\sigma_{Z_t}^2 = \lambda^2 \{1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^4 + (1 - \lambda)^6 + \dots + (1 - \lambda)^{2(t-1)}\} \sigma_{X_t}^2 \quad (2.13)$$

Pada Persamaan (2.13) membentuk deret geometri dengan nilai awal adalah $a = 1$. Perbandingan nilai kedua dengan nilai awal yaitu $r = (1 - \lambda)^2$, dan banyaknya nilai yaitu $n = 2t$. sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{t-1} (1 - \lambda)^{2j} &= \frac{a(1 - r^n)}{1 - r} = \frac{1(1 - (1 - \lambda)^{2t})}{1 - (1 - \lambda)^2} \\ &= \frac{1 - (1 - \lambda)^{2t}}{1 - (1 - 2\lambda + \lambda^2)} \\ &= \frac{1 - (1 - \lambda)^{2t}}{2\lambda - \lambda^2} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Substitusi Persamaan (2.14) ke Persamaan (2.13), sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \sigma_{Z_t}^2 &= \lambda^2 \{1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^4 + (1 - \lambda)^6 + \dots + (1 - \lambda)^{2(t-1)}\} \sigma_{X_t}^2 \\ &= \lambda^2 \sigma_{X_t}^2 \left[\frac{1 - (1 - \lambda)^{2t}}{2\lambda - \lambda^2} \right] \\ \sigma_{Z_t}^2 &= \lambda \sigma_{X_t}^2 \left[\frac{1 - (1 - \lambda)^{2t}}{2 - \lambda} \right] \end{aligned}$$

Jika dimisalkan $\sigma_{X_t}^2 = \sigma^2$, maka variansi dari EWMA adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{Z_t}^2 = \frac{\lambda \sigma^2 (1 - (1 - \lambda)^{2t})}{2 - \lambda}$$

Batas-batas peta kendali EWMA dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$UCL = \mu_0 + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda(1 - (1 - \lambda)^{2t})}{2 - \lambda}} \quad (2.15)$$

$$CL = \mu_0 \quad (2.16)$$

$$LCL = \mu_0 - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda(1 - (1 - \lambda)^{2t})}{2 - \lambda}} \quad (2.17)$$

dengan L adalah lebar batas kendali.

2.4 Mixed Cumulative Sum - Exponentially Weighted Moving Average

Peta kendali *Cumulative Sum* (CUSUM) dan Peta kendali - *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) merupakan salah satu alat yang dapat mendeteksi pergeseran rata-rata proses kecil atau perubahan kecil yang terjadi pada kualitas produk yang dihasilkan dalam proses produksi. Skema yang diusulkan merupakan gabungan dari peta kendali CUSUM dan EWMA. Peta kendali MCE yang diusulkan didasarkan pada dua statistik sebagai berikut (Zaman dkk., 2014):

$$MCE_t^+ = (1 - \lambda)MCE_{t-1}^+ + \lambda_c C_t^+ \quad (2.18)$$

$$MCE_t^- = (1 - \lambda)MCE_{t-1}^- + \lambda_c C_t^- \quad (2.19)$$

Pada struktur MCE peta kendali EWMA pada Persamaan (2.6) disubstitusikan dengan peta kendali CUSUM yang diperoleh secara tabular yang didefinisikan pada Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3), sesuai dengan tujuan penggabungan dua metode ini yaitu grafik pengendali CUSUM akan digunakan sebagai input untuk struktur EWMA karena nilai tersebut sebagai elemen yang dihitung dari data sampel yang telah disajikan, sehingga diperoleh:

$$MCE_t^+ = (1 - \lambda)^t \mu_0 + \lambda_c \sum_{j=1}^t (1 - \lambda)^{t-j} C_j^+ \quad (2.20)$$

$$MCE_t^- = (1 - \lambda)^t \mu_0 + \lambda_c \sum_{j=1}^t (1 - \lambda)^{t-j} C_j^- \quad (2.21)$$

Pada struktur MCE parameter yang digunakan adalah λ_c dengan $0 \leq \lambda_c \leq 1$. Menurut Montgomery (2009) nilai λ_c terbaik adalah $0,05 \leq \lambda_c \leq 0,25$. Sedangkan menurut Lucas & Sacucci (1990) nilai λ_c terbaik sesuai dengan panjang ARL yang diinginkan *in control*. Semakin kecil nilai λ_c akan semakin baik untuk mendeteksi pergeseran kecil.

Peta kendali ini menggambarkan data dengan dua sisi seperti grafik CUSUM dengan MCE_t^+ merupakan penggambaran data sisi atas dan MCE_t^- penggambaran data sisi bawah, masing-masing $MCE_0^+ = MCE_0^- = \mu_c$. Untuk dalam situasi kontrol, rata-rata dan varians statistik di Persamaan (2.18) dan Persamaan (2.19) bervariasi dari waktu ke waktu ke nilai tertentu dari t dan untuk $t \rightarrow \infty$, itu menjadi konstan. Notasi untuk mean dan varians masing-masing adalah:

$$E(MCE_t^+) = E(MCE_t^-) = \mu_{c_t} \quad (2.22)$$

$$\text{var}(MCE_t^+) = \text{var}(MCE_t^-) = \sigma_{c_t}^2 \quad (2.23)$$

Peta kendali secara umum memiliki garis penting yaitu garis batas kendali atas (*Upper Control Limit*) dan garis batas kendali bawah (*Lower Control Limit*). Didefinisikan batas kendali untuk peta kendali MCE sebagai berikut (Alves dkk, 2019):

$$UCL_t = \mu_{c_t} + L\sigma \sqrt{\frac{\lambda_c}{2 - \lambda_c} (1 - (1 - \lambda_c)^{2t})} \quad (2.24)$$

$$LCL_t = \mu_{c_t} - L\sigma \sqrt{\frac{\lambda_c}{2 - \lambda_c} (1 - (1 - \lambda_c)^{2t})} \quad (2.25)$$

Dengan L adalah koefisien lebar seperti L pada rumus EWMA klasik yang berfungsi sebagai *predefined false alarm rate*.

2.5. Average Run Length

Evaluasi kinerja grafik peta kendali dapat dilakukan dengan mengukur seberapa cepat peta kendali tersebut menangkap sinyal tidak terkendali. Salah satu caranya adalah menggunakan nilai *Average Run Length* (ARL). ARL merupakan rata-rata observasi yang harus digambarkan sebelum muncul sinyal tidak terkendali. Pada peta kendali Shewhart, ARL dinyatakan dengan rumus $ARL = \frac{1}{\alpha}$ dimana α adalah probabilitas. Semakin kecil nilai ARL peta kendali maka semakin cepat peta kendali tersebut mendeteksi adanya sinyal tidak terkendali. Grafik peta kendali yang lebih cepat mendeteksi adanya sinyal tidak terkendali dianggap lebih efektif dalam mendeteksi adanya pergeseran rata-rata proses (Wijayanti dkk., 2020).

Secara umum persamaan untuk perhitungan ARL adalah sebagai berikut:

$$ARL = \frac{1}{p} \quad (2.26)$$

dengan p adalah probabilitas suatu titik keluar dari batas-batas peta kendali. Untuk ARL_0 , $p = \alpha =$ probabilitas kesalahan/error tipe I (menyatakan keadaan tidak terkendali padahal keadaan terkendali) atau probabilitas suatu titik rata-rata sampel berada di luar batas kendali pada saat proses terkendali, α disebut juga sebagai probabilitas *false alarm*. Untuk ARL_1 , nilai $p = 1 - \beta =$ probabilitas kesalahan/error tipe II (menyatakan keadaan terkendali padahal keadaan tidak

terkendali) atau probabilitas suatu titik rata-rata sampel berada di dalam batas kendali pada saat proses tidak terkendali. Oleh karena itu pada kondisi *out of control* adalah (Rakhmawati dan Mashuri, 2011):

$$ARL_1 = \frac{1}{(1-\beta)} \quad (2.27)$$

Sedangkan pada kondisi *in control* adalah:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (2.28)$$

Dengan β merupakan probabilitas penerimaan hasil sampling yang seharusnya di tolak atau cacat. Untuk mencari β dapat dinyatakan dengan langkah sebagai berikut (Khamid dkk, 2018):

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

dimana:

$$\begin{aligned} \beta &= P(LCL \leq X \leq UCL | \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma_0) \\ &= P\left(Z \leq \frac{UCL - \mu_1}{\sigma_0}\right) - P\left(Z \leq \frac{LCL - \mu_1}{\sigma_0}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ARL_1 &= \frac{1}{1 - \left[P\left(Z \leq \left[\frac{UCL - \mu + \delta\sigma_{x_t}}{\sigma}\right]\right) - P\left(Z \leq \left[\frac{LCL - \mu + \delta\sigma_{x_t}}{\sigma}\right]\right) \right]} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Secara umum, performa yang baik dari sebuah peta kendali jika mempunyai ARL_0 sebesar mungkin dan ARL_1 sekecil mungkin.

2.6 Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov

Uji normalitas digunakan untuk menentukan apakah data sampel yang telah dikumpulkan berdistribusi normal atau tidak. Untuk pengujian normalitas, salah satu uji statistik yang dapat digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov (Prihatini dkk., 2018). Berikut Uji *Kolmogorov-Smirnov* (Hakam, 2017):

Hipotesis:

H_0 : data berdistribusi normal

H_1 : data tidak berdistribusi normal

Statistik uji:

$$D_{hitung} : \max\{|F_0(x_i) - S(x_i)|\}$$

$$S(x_i) = \frac{fkum}{m}$$

dengan;

D_{hitung} : deviasi maksimum

$F_0(x_i)$: fungsi peluang kumulatif yang dihipotesiskan

$S(x_i)$: fungsi peluang kumulatif yang dihitung dari sampel

$fkum$: frekuensi kumulatif ke i

m : jumlah sampel

Kriteria pengujian:

Jika $D_{hitung} < D_{\alpha,n}$ (nilai $\alpha = 0.05$), maka H_0 diterima yang berarti data sampel berdistribusi normal.

2.7 PT Maruki International Indonesia

PT. Maruki international Indonesia berdiri pada tanggal 18 Juni 1997, yang sebelumnya dengan nama, PT. Tokai Material Indonesia, pada tanggal 14 Januari 2003 berubah nama menjadi PT. Maruki International Indonesia. Proses awal berdirinya perusahaan ini menemui tantangan yang cukup berat, karena saat itu perekonomian di Asia mengalami krisis yang cukup dahsyat, tak terkecuali Indonesia. Dengan strategi dan perencanaan yang tepat oleh para perintisnya maka pembangun industri ini tetap berjalan baik ditengah goncangan ekonomi dan krisis moneter yang melanda negeri ini.

Produk utama yang dihasilkan adalah Butsudan, furniture spesifik dengan nilai budaya dan seni yang tinggi, karena terkait dengan budaya masyarakat Jepang. Oleh mereka, Butsudan dijadikan sebagai media untuk berkomunikasi dengan para leluhur sehingga ditempatkan secara khusus dan bahkan menjadi simbol kelas sosial masyarakatnya. Tidak heran bila Butsudan memiliki variasi harga dari yang nilai jutaan rupiah hingga puluhan juta rupiah. Bahan baku utama pembuatan Butsudan adalah kayu, dengan berbagai jenis, bersumber dari dalam dan luar negeri. Jenis bahan baku dalam negeri berupa kayu Ebony dan Nyato yang berasal dari wilayah Sulawesi.