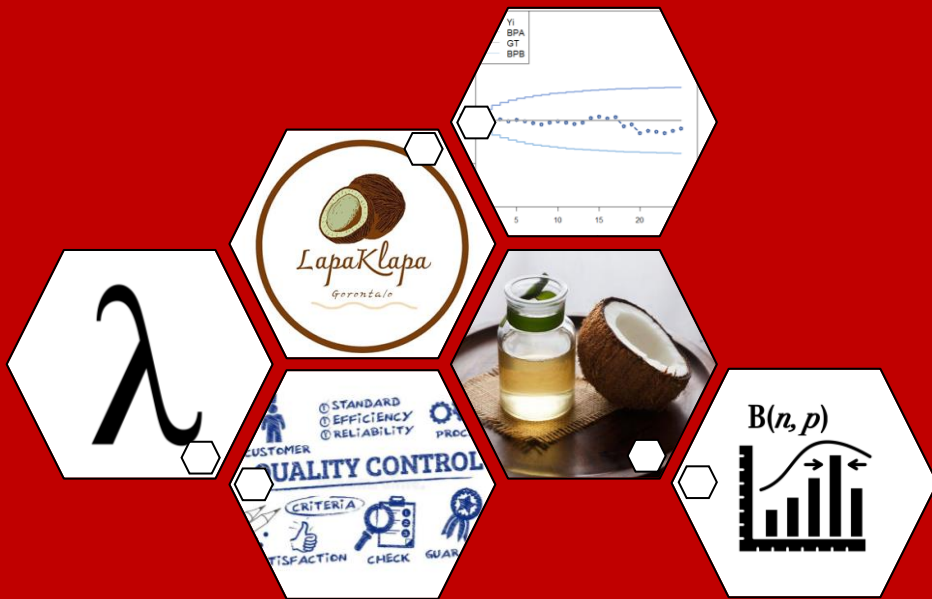


**PENERAPAN PETA KENDALI ARCSIN *EXPONENTIALLY WEIGHTED*  
*MOVING AVERAGE* NONPARAMETRIK PADA DATA PERSENTASE  
KANDUNGAN AIR DALAM *VIRGIN COCONUT OIL***



**JIHAN NAZMI MIRZAFANNA BILONDATU  
H051201024**



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

**2024**

**PENERAPAN PETA KENDALI ARCSIN *EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* NONPARAMETRIK PADA DATA PERSENTASE KANDUNGAN AIR DALAM *VIRGIN COCONUT OIL***

**JIHAN NAZMI MIRZAFANNA BILONDATU  
H051201024**



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**PENERAPAN PETA KENDALI ARCSIN *EXPONENTIALLY WEIGHTED MOVING AVERAGE* NONPARAMETRIK PADA DATA PERSENTASE KANDUNGAN AIR DALAM *VIRGIN COCONUT OIL***

JIHAN NAZMI MIRZAFANNA BILONDATU  
H051201024



**PROGRAM STUDI STATISTIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SKRIPSI**  
**PENERAPAN PETA KENDALI ARCSIN *EXPONENTIALLY WEIGHTED***  
***MOVING AVERAGE* NONPARAMETRIK PADA DATA PERSENTASE**  
**KANDUNGAN AIR DALAM *VIRGIN COCONUT OIL***

**JIHAN NAZMI MIRZAFANNA BILONDATU**  
**H051201024**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Statistika pada tanggal 4  
Desember 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan pada

Program Studi Statistika  
Departemen Statistika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

Mengesahkan:  
Pembimbing Tugas Akhir,



**Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19750429 200003 2 001

Mengetahui:  
Kepala Program Studi,



**Dr. Anna Islamiyati, S.Si., M.Si.**  
NIP. 19770808 200501 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Penerapan Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik pada Data Persentase Kandungan Air dalam *Virgin Coconut Oil*" adalah benar karya saya dengan arahan dari Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si. sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 4 Desember 2024



Mirzafanna Bilondatu  
NIM. H051201024

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Atas segala limpahan Rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wa Sallam* beserta keluarga dan sahabatnya.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.** selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan begitu banyak ilmu, waktu, dan dorongan semangat kepada penulis selama proses penulisan tugas akhir ini. Terima kasih kepada **Bapak Siswanto, S.Si., M.Si.** dan **Ibu Prof. Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si.** selaku Tim Penguji yang senantiasa memberikan saran dan kritikan dalam penyempurnaan penulisan tugas akhir ini. Terimakasih kepada **Pimpinan Universitas Hasanuddin, Departemen Statistika, Jajaran Dosen, dan Staf Departemen Statistika** yang telah memfasilitasi, memberikan ilmu bermanfaat, dan membantu penulis selama menempuh studi.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang tulus juga penulis ucapkan kepada orang tua terkasih **Kudus Bilondatu** dan **Maryam Razak** yang telah memberikan dukungan penuh serta pengorbanan luar biasa yang telah menemani langkah penulis dengan doa dan restu mulianya. Ucapan terimakasih juga penulis haturkan kepada kakak tercinta penulis, **Jane** dan saudara-saudara penulis, **Adila, Iyem, Iwi** dkk. yang selalu menghibur dan memberikan semangat.

Akhirnya, kepada **Rara** sahabat penulis yang walaupun jauh secara jarak, selalu menjadi *support system* penulis selama delapan tahun lamanya. Ucapan terimakasih juga tidak lupa penulis sampaikan kepada **Zakirah, Shofyah, Salsa**, dan teman-teman Lunar dan Arseva, YMMA (**Aliah, Aulia, Nadia, dan Nahla**), Ciwi-Ciwi Among (**Afika, Aish, Ayu, Cynthia, Ica, Isna, Lau, Parida, Pebi, Putri, Radia, Rahmi, Rifdah, dan Stansye**), Statistika 2020 (**Ira, Yoel, Alif, Lili, Rais, Theo, Bahar** dkk.) yang telah berjuang bersama-sama selama masa perkuliahan dan menciptakan banyak kenangan indah yang tak akan bisa penulis lupakan, serta **Bunda Aliah** dan **Tante Lia** yang telah menjadi keluarga kedua penulis selama KKNT 110 BPJS Ketenagakerjaan Manggala.

Makassar, 4 Desember 2024

Jihan Nazmi Mirzafanna Bilondatu

## ABSTRAK

Jihan Nazmi Mirzafanna Bilondatu. **Penerapan Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik pada Data Persentase Kandungan Air dalam *Virgin Coconut Oil*** (dibimbing oleh Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.).

**Latar Belakang.** Berdasarkan penggunaan data historis, peta kendali terbagi menjadi dua yaitu peta kendali tanpa memori dan peta kendali memori yang dirancang dengan mempertimbangkan informasi terbaru dan informasi sebelumnya. Salah satu peta kendali tipe memori yang paling sering digunakan adalah peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA). Namun, data yang digunakan dapat melanggar asumsi kenormalan. Permasalahan ini dapat diatasi dengan penggunaan transformasi arcsin. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan penerapan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik pada data VCO yang tidak berdistribusi normal. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk membentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dan membandingkan kinerja peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dengan peta kendali EWMA *sign* pada data produksi VCO CV LapaKlapa. **Metode.** Penelitian ini menggunakan metode EWMA dengan transformasi arcsin. **Hasil.** Berdasarkan jumlah titik *out of control*, monitoring proses produksi menggunakan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik lebih sensitif dibandingkan peta kendali EWMA *sign* untuk pembobot  $\lambda = 0,05$ ,  $\lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,2$  karena terdeteksi lebih banyak titik sampel *out of control*. Sedangkan berdasarkan nilai ARL, peta kendali arcsin EWMA nonparametrik memiliki nilai yang lebih kecil pada setiap nilai pembobot  $\lambda$ . **Kesimpulan.** Penerapan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik pada data VCO CV LapaKlapa menunjukkan bahwa peta kendali arcsin EWMA nonparametrik mempunyai kinerja lebih baik dibandingkan peta kendali EWMA *sign*.

**Kata Kunci:** ARL, EWMA, Normalitas, Peta Kendali, Transformasi Arcsin, VCO

## ABSTRACT

Jihan Nazmi Mirzafanna Bilondatu. **Application of Nonparametric Arcsin Exponentially Weighted Moving Average Control Chart on Water Content Percentage Data in Virgin Coconut Oil** (supervised by Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.).

**Background.** Based on the use of historical data, control charts are divided into two, namely memoryless control charts and memory control charts designed by considering the latest information and previous information. One of the most frequently used memory-type control charts is the Exponentially Weighted Moving Average (EWMA) control chart. However, the data used may violate the assumption of normality. This problem can be overcome with the use of arcsin transformation. Therefore, this study applies the nonparametric arcsin EWMA control map to VCO data that is not normally distributed. **Aim.** This study aims to form a nonparametric arcsin EWMA control chart and compare the performance of the nonparametric arcsin EWMA control chart with the EWMA sign control chart on CV LapaKlapa VCO production data. **Methods.** This study uses the EWMA method with arcsin transformation. **Results.** Based on the number of out of control points, monitoring the production process using the nonparametric arcsin EWMA control chart is more sensitive than the EWMA sign control chart for weighting  $\lambda = 0.05$ ,  $\lambda = 0.1$ , and  $\lambda = 0.2$  because more out of control samples points are detected. While based on the ARL value, the nonparametric arcsin EWMA control chart has a smaller value at each weighting value of  $\lambda$ . **Conclusion.** The application of the nonparametric arcsin EWMA control chart on CV LapaKlapa VCO data shows that the nonparametric arcsin EWMA control chart has better performance than the sign EWMA control chart.

**Keywords:** Arcsin Transformation, ARL, Control Charts, EWMA, Normality, VCO



## DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
Deviasi	Dalam konteks uji normalitas Kolmogorov-Smirnov, deviasi merujuk pada perbedaan/selisih antara distribusi frekuensi kumulatif empiris dari sampel data dan distribusi frekuensi kumulatif teoritis yang diharapkan
Estimasi	Nilai perkiraan/pendugaan suatu parameter populasi berdasarkan data sampel
Hipotesis	Suatu dugaan sementara terkait dengan populasi dalam suatu penelitian yang kebenarannya masih perlu dibuktikan
<i>In control</i>	Kondisi jika titik-titik sampel berada di dalam daerah yang dibatasi oleh UCL dan LCL
<i>Mean</i>	Ukuran pemusatan data yang menggambarkan nilai rata-rata dari sekelompok data
<i>Mean proses</i>	Nilai rata-rata dari suatu proses produksi atau operasional yang diamati
<i>Moving average</i>	Metode statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara menghitung rata-rata dari sejumlah titik data berturut-turut di dalam deret waktu
Nonparametrik	Pendekatan yang tidak bergantung pada asumsi tertentu tentang distribusi atau bentuk parameter dari populasi yang diamati
<i>Out of control</i>	Kondisi jika titik-titik sampel berada di bawah LCL atau di atas UCL
Parameter	Nilai yang menggambarkan karakteristik atau sifat dari suatu populasi
Pembobot	Nilai yang diberikan kepada suatu data untuk mengindikasikan pentingnya atau kontribusinya dalam suatu analisis atau perhitungan tertentu
Peluang	Peluang atau kemungkinan terjadinya suatu peristiwa
Pergeseran proses	Perubahan yang signifikan dalam nilai rata-rata dari suatu proses produksi dari nilai yang ditargetkan
Proporsi	Ukuran kuantitatif yang menunjukkan rasio atau perbandingan antara bagian yang memenuhi kriteria tertentu dengan keseluruhan data
Stabilitas proses	Konsistensi atau kestabilan hasil produksi dari suatu proses dalam jangka waktu yang panjang
Standar deviasi	Ukuran seberapa jauh titik data tersebar di sekitar nilai rata-ratanya
Variansi	Rata-rata dari kuadrat deviasi setiap titik data dari nilai rata-rata.

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti dan Penjelasan
$D_{hitung}$	Nilai uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i>
$E$	Ekspektasi/nilai harapan
$F_0(x)$	Distribusi frekuensi kumulatif teoritis
$F_n(x)$	Distribusi frekuensi kumulatif empiris
$H_0$	Hipotesis nol
$H_1$	Hipotesis alternatif
$I$	Matriks identitas
$i$	Sampel $i = 1, 2, \dots, n$
$j$	Pengamatan $j = 1, 2, \dots, m$
$k$	Nilai pergeseran proses
$L$	Jarak batas-batas kendali dari garis tengah
$\lambda$	Pembobot
$m$	Banyak pengamatan
$M_i$	Jumlah data $X_{ij}$ yang nilainya melebihi target
$\mu$	Rata-rata atau <i>mean</i>
$N$	Jumlah interval rantai markov
$n$	Jumlah sampel tiap pengamatan
$P$	Peluang
$p$	Proporsi proses
$\phi$	Fungsi distribusi kumulatif normal standar
$Q$	Matriks peluang transisi
$r$	Jumlah run dalam urutan
$\sigma$	Standar deviasi
$\sigma^2$	Ragam atau variansi
$Var$	Variansi
$X_{ij}$	Karakteristik kualitas yang diamati pada sampel ke- $i$ dan pengamatan ke- $j$
$Y_i$	Nilai statistik arcsin EWMA nonparametrik
$Z_i$	Variabel $Z$ pada statistik arcsin EWMA nonparametrik
ARL	<i>Average Run Length</i>
BKA	Batas Kendali Atas
BKB	Batas Kendali Bawah
CUSUM	<i>Cumulative Sum</i>
EWMA	<i>Exponentially Weighted Moving Average</i>
GT	Garis Tengah
PMF	<i>Probability Mass Function</i>
VCO	<i>Virgin Coconut Oil</i>

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISTILAH.....	ix
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Batasan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat .....	3
1.4 Teori .....	4
1.4.1 Uji Asumsi Data .....	4
1.4.2 Peta Kendali.....	6
1.4.3 Proporsi Proses .....	6
1.4.4 Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> .....	7
1.4.5 Transformasi Arcsin untuk Distribusi Binomial .....	10

1.4.6	Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik .....	14
1.4.7	<i>Average Run Length</i> .....	15
1.4.8	CV LapaKlapa .....	17
BAB II METODOLOGI PENELITIAN .....		18
2.1	Sumber Data .....	18
2.2	Tahapan Penelitian .....	18
2.3	Diagram Alir .....	19
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN .....		20
3.1	Teoritis Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik .....	20
3.2	Deskripsi Data .....	22
3.3	Pengujian Asumsi .....	23
3.3.1	Uji Keacakan Data .....	23
3.3.2	Uji Normalitas Data .....	24
3.5	Penerapan Peta Kendali Nonparametrik pada Data <i>Virgin Coconut Oil</i> .....	24
3.5.1	<i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> .....	24
3.5.2	Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik .....	31
3.6	Perbandingan Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik dengan Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> .....	37
3.6.1	Menghitung Nilai <i>Average Run Length</i> Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> .....	37
3.6.2	Menghitung Nilai <i>Average Run Length</i> Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik .....	38
3.6.3	Perbandingan Nilai <i>Average Run Length</i> .....	39
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN .....		42
4.1	Kesimpulan .....	42

4.2 Saran ..... 42

## DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Nilai Kritis $D$ untuk $\alpha = 0,05$ .....	6
2. Data Kandungan Air (%) pada Produksi <i>Virgin Oil Coconut</i> CV LapaKlapa Tanggal 4 Juli Hingga 30 Oktober 2023.....	22
3. Uji Keacakan Data .....	23
4. Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	24
5. Nilai $M_i$ .....	24
6. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,05$ .....	27
7. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,1$ .....	28
8. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,2$ .....	29
9. Perhitungan Nilai $Z_i$ .....	31
10. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,05$ .....	33
11. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,1$ .....	34
12. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,2$ .....	35
13. Nilai ARL Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> .....	38
14. Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik .....	39
15. Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> dan Arcsin EWMA Nonparametrik .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Produk VCO CV LapaKlapa.....	17
2. Diagram Alir Penelitian.....	19
3. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,05$ .....	27
4. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,1$ .....	29
5. Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,2$ .....	30
6. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,05$ .....	33
7. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,1$ .....	35
8. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,2$ .....	36
9. Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> dan Arcsin EWMA Nonparametrik .....	41

## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Data Kandungan Air (%) pada Produksi <i>Virgin Oil Coconut</i> CV LapaKlapa Tanggal 3 Juli Hingga 30 Oktober 2023.....	48
2. Uji Keacakan Data .....	50
3. Perhitungan Uji Normalitas Data .....	52
4. Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> untuk $\lambda = 0,05$ . .53	53
5. Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> untuk $\lambda = 0,1$ . ...55	55
6. Peta Kendali <i>Exponentially Weighted Moving Average Sign</i> untuk $\lambda = 0,2$ . ...57	57
7. Perhitungan Nilai $Z_i$ .....	59
8. Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik untuk $\lambda = 0,05$ .....	61
9. Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik untuk $\lambda = 0,1$ .....	63
10. Peta Kendali Arcsin <i>Exponentially Weighted Moving Average</i> Nonparametrik untuk $\lambda = 0,2$ .....	65
11. <i>Syntax</i> R untuk Menghitung Nilai ARL Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> .....	67
12. <i>Syntax</i> R untuk Menghitung Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik .....	68
13. Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali EWMA <i>Sign</i> untuk $\lambda = 0,01$ hingga $\lambda = 0,9$ .....	69
14. Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,01$ hingga $\lambda = 0,9$ .....	71
15. Surat Permohonan Data .....	73



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kualitas produk merupakan faktor penting dalam menentukan daya saing perusahaan dan kepuasan pelanggan. Kualitas produk mencakup berbagai karakteristik yang memungkinkan produk berfungsi sebagaimana mestinya (Božek dkk., 2021). Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertahankan standar kualitas secara ketat untuk mempertahankan kredibilitas dan permintaan. Salah satu upaya dalam mempertahankan standar kualitas produk dapat dilakukan dengan pengendalian kualitas statistik. Montgomery (2009) mengemukakan bahwa pengendalian kualitas adalah teknik statistik yang digunakan untuk memonitor, mengontrol, dan memperbaiki proses produksi sehingga dapat menghasilkan produk yang lebih baik. Pengendalian kualitas statistik digunakan untuk mendeteksi penyimpangan *mean* proses sehingga dapat dilakukan tindakan koreksi untuk menghindari adanya hasil produksi yang tidak memenuhi standar. Salah satu metode pengendalian kualitas yang paling sering digunakan adalah peta kendali.

Peta kendali memberikan informasi tentang terkendalinya suatu proses produksi atau tidak. Selain itu, penggunaan peta kendali membantu mengevaluasi performa pelaksanaan proses produksi. Oleh karena itu, peta kendali sangat membantu untuk mencapai kualitas produk yang tinggi. Peta kendali pertama kali diperkenalkan oleh Shewhart (1931), yaitu peta kendali Shewhart. Peta kendali ini hanya menggunakan informasi sampel terakhir dan mengabaikan informasi sebelumnya. Hal ini menyebabkan peta kendali tersebut dinilai kurang efektif dalam mendeteksi pergeseran *mean* yang kecil, sehingga kesalahan kecil yang dapat menurunkan kualitas produk dalam suatu proses produksi tidak dapat terdeteksi (Ajadi dkk., 2017). Oleh karena itu, dikembangkanlah peta kendali *Cumulative Sum* (CUSUM) oleh Page (1954) dan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) oleh Roberts (1959) yang dinilai lebih cocok dalam menanggulangi kelemahan peta kendali Shewhart.

Peta kendali CUSUM dan peta kendali EWMA dirancang dengan mempertimbangkan informasi terbaru juga informasi sebelumnya, sehingga kedua peta kendali tersebut lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil (Setyorini dan Surjanto, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Wijayanti dkk. (2020) membandingkan kinerja peta kendali EWMA dan CUSUM. Penelitiannya memperoleh hasil bahwa peta kendali CUSUM menunjukkan tidak ada titik-titik yang berada di luar batas kendali. Sedangkan saat menggunakan peta kendali EWMA, data masih tidak terkendali secara statistik karena masih terdapat titik yang berada di luar batas kendali. Selain itu, ditemukan bahwa peta kendali EWMA memiliki nilai ARL yang lebih kecil dibanding peta kendali CUSUM, sehingga disimpulkan bahwa peta kendali EWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran *mean* yang relatif kecil.

Peta kendali EWMA dirancang dengan asumsi bahwa data yang digunakan harus berdistribusi normal. Hal ini menjadi masalah karena pada praktiknya sering kali sampel yang ditemukan di lapangan tidak selalu berdistribusi normal atau tidak

diketahui sebarannya. Pada kasus ini, peta kendali EWMA yang termasuk peta kendali variabel tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah tersebut, diusulkan metode peta kendali yang tidak memerlukan asumsi distribusi tertentu yaitu dengan menggunakan peta kendali nonparametrik. Beberapa kelebihan dari peta kendali nonparametrik adalah (i) sederhana, (ii) tidak memerlukan asumsi distribusi tertentu, (iii) efektif dalam mengidentifikasi dan mengatasi data *outlier*, dan (iv) pengawasan proses yang efektif bahkan saat data terbatas atau belum stabil (Tang dkk., 2019). Salah satu peta kendali nonparametrik yang telah banyak digunakan adalah peta kendali EWMA nonparametrik.

Peta kendali EWMA nonparametrik diperkenalkan oleh Amin dan Searcy (1991) untuk mengatasi keterbatasan peta kendali EWMA parametrik ketika distribusi sampel tidak diketahui. Peta kendali EWMA nonparametrik banyak digunakan karena dapat lebih cepat mendeteksi pergeseran kecil dan sedang. Beberapa peneliti yang telah melakukan analisis mengenai peta kendali EWMA nonparametrik diantaranya adalah Abbasi dkk. (2022), Zhou dkk. (2009), Zou dan Tsung (2010), dan Lukman dkk. (2023). Salah satu penelitian tentang peta kendali EWMA nonparametrik dilakukan oleh Li dkk. (2010) dengan membandingkan kinerja peta kendali EWMA nonparametrik dengan peta kendali EWMA parametrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada data berdistribusi normal, peta kendali nonparametrik dan peta kendali parametrik memiliki sedikit perbedaan kinerja dalam hal sensitifitas. Sedangkan untuk data yang tidak berdistribusi normal, peta kendali nonparametrik lebih sensitif dibandingkan peta kendali parametrik. Hal ini menunjukkan bahwa peta kendali EWMA nonparametrik dapat bekerja baik pada data yang tidak berdistribusi normal.

Lukman dkk. (2023) menggunakan peta kendali EWMA nonparametrik sebagai alternatif peta kendali tanpa memperhatikan sebaran data. Pada penelitiannya, data pengamatan terlebih dahulu diubah menjadi bilangan biner, sehingga data berdistribusi binomial. Namun, pembentukan peta kendali menggunakan data binomial tersebut menghasilkan nilai ARL yang tidak umum ditemui. Oleh karena itu, Yang dkk. (2011) memperkenalkan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik, yaitu peta kendali yang menggunakan transformasi arcsin untuk mengatasi masalah distribusi pada data dengan mentransformasi data binomial menjadi data berdistribusi normal. Lin dan Xu (2020), menjelaskan bahwa transformasi arcsin lebih baik dibandingkan transformasi log dan logit pada data yang berdistribusi binomial karena mampu memberikan estimasi variansi yang lebih stabil dan lebih sederhana. Hal ini dikarenakan transformasi arcsin bergantung hanya pada ukuran sampel tanpa memperhitungkan variasi acak dari jumlah kejadian, sementara transformasi log dan logit memperhitungkan variansi yang dipengaruhi oleh jumlah kejadian yang bersifat acak. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih transformasi arcsin untuk mengatasi data yang tidak berdistribusi normal.

Beberapa penelitian sebelumnya yang juga membuat analisis terkait penerapan peta kendali nonparametrik pada data yang tidak berdistribusi normal diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Yang dkk. (2011) mengenai peta kendali arcsin EWMA nonparametrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan transformasi arcsin dapat mengatasi masalah distribusi pada data sehingga data dapat digunakan dalam membuat peta kendali dan menghasilkan peta kendali yang sensitif

dalam mendeteksi pergeseran. Selanjutnya, penelitian oleh Tran dkk. (2018) tentang peta kendali arcsin EWMA memperoleh nilai ARL yang lebih kecil dibandingkan nilai ARL arcsin Shewhart. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peta kendali arcsin EWMA lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran dibandingkan dengan peta kendali arcsin Shewhart. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan pada data hasil simulasi. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik pada data hasil pengamatan, yaitu data produksi VCO.

*Virgin Coconut Oil* (VCO) adalah minyak kelapa murni yang dibuat dari inti kelapa dan santan dengan kandungan asam lemak jenuh yang sangat rendah sehingga dikenal sebagai minyak yang bergizi sehat dan baik untuk sistem kekebalan tubuh. Oleh karenanya, VCO banyak menarik perhatian global karena memiliki banyak manfaat untuk kesehatan. Pasar global yang berkembang pesat dan bernilai tinggi memberikan prospek yang baik bagi petani kelapa. Beberapa negara ASEAN pun menjadi produsen VCO dengan Filipina sebagai pengekspor terbesar, diikuti Thailand, Indonesia, dan Sri Lanka. Total ekspor Filipina pada 2015 mencapai 36.332 ton. Indonesia sendiri memiliki lebih dari 200 produsen kecil dan menengah (Santosa dkk., 2020). Sebagian besar produknya dikonsumsi di dalam negeri, sedangkan ekspor VCO mulai dilakukan dan terus bertambah. Pemasaran VCO berkembang sangat pesat dengan permintaan yang meningkat sebagai bahan pokok rumah tangga, sektor nutrisi dan farmasi, hingga industri kecantikan. VCO juga banyak diminati sebagai bahan pokok untuk diet yang lebih sehat (Rethinam, 2019).

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini, peneliti akan membahas tentang penerapan peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik pada data persentase kandungan air pada data produksi *Virgin Coconut Oil* yang tidak berdistribusi normal untuk mendeteksi pergeseran *mean* proses yang dituliskan dalam sebuah tugas akhir dengan judul "**Penerapan Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik pada Data Persentase Kandungan Air dalam *Virgin Coconut Oil***". Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada Perusahaan agar dapat menjaga kualitas produknya.

## 1.2 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Data yang akan digunakan merupakan data persentase kandungan air dalam produk *Virgin Coconut Oil* di CV LapaKlapa periode 3 Juli - 30 Oktober 2023.
2. Syarat mutu kandungan air dalam *Virgin Coconut Oil* adalah 0,2%.

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Membentuk peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik pada data *Virgin Coconut Oil*.
2. Membandingkan kinerja peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik dengan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average sign* pada data *Virgin Coconut Oil*.

Manfaat yang ingin dicapai penelitian ini antara lain:

1. Memperoleh penjelasan dan kinerja peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik dalam mendeteksi pergeseran *mean* atau perubahan proporsi proses pada proses produksi.
2. Sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.
3. Memberikan informasi mengenai kualitas proses produksi kepada perusahaan sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan langkah pengendalian kualitas.

## 1.4 Teori

### 1.4.1 Uji Asumsi Data

Sebelum membuat peta kendali, diperlukan beberapa asumsi yang harus dipenuhi, yaitu data harus berasal dari populasi yang acak dan data harus mengikuti distribusi normal. Oleh karena itu, terlebih dilakukan uji keacakan data dan uji normalitas.

#### a. Uji Keacakan Data

Data yang digunakan harus sampel yang diambil secara acak dari populasi yang ada agar mendapatkan data yang saling independen. *Run test* merupakan jenis uji nonparametrik dalam statistik untuk menentukan adanya seleksi acak dalam proses pemilihan sampel. Oleh karena itu, penggunaan *run test* dalam menguji keacakan data dapat menjadi bukti untuk menunjukkan bahwa tidak ada bias dalam proses seleksi (Corder dan Foreman, 2014).

#### Hipotesis

$H_0$ : Data diambil dari populasi yang acak

$H_1$ : Data diambil dari populasi yang tidak acak

#### Tingkat Signifikansi

$\alpha = 0,05$

#### Statistik Uji

- Tentukan nilai rerata masing-masing sampel
- Beri tanda + untuk data yang nilainya  $>$  dari rerata
- Beri tanda – untuk data yang nilainya  $\leq$  dari rerata

Setelah itu, tentukan banyaknya run dalam setiap urutan data. Run = banyaknya urutan data dengan tanda identik yang diikuti dan didahului oleh tanda berbeda.

Misal:

+ + – = 2 run

+ – + + – = 4 run

Statistik uji dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) (Bradley, 1960).

$$Z_{hitung} = \frac{r - \mu_r}{\sigma_r} \sim N(0,1) \quad (1)$$

dengan

$$\mu_r = \frac{2n_1n_2}{n_1 + n_2} + 1 \quad (2)$$

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}} \quad (3)$$

Keterangan:

- $r$  : Jumlah *run* dalam urutan  
 $n_1$  : Jumlah data yang bertanda “+”  
 $n_2$  : Jumlah data yang bertanda “-”  
 $\mu_r$  : Ekspektasi dari jumlah *run*  
 $\sigma_r$  : Variansi dari jumlah *run*

### Daerah Penolakan

$H_0$  diterima jika  $-\frac{Z_\alpha}{2} < Z_{hitung} < \frac{Z_\alpha}{2}$

$H_0$  ditolak jika  $Z_{hitung} < -\frac{Z_\alpha}{2}$  atau  $Z_{hitung} > \frac{Z_\alpha}{2}$

### b. Uji Normalitas *Kolmogorov-Smirnov*

Salah satu metode yang sering digunakan dalam uji fit distribusi adalah *Kolmogorov-Smirnov*. Uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk menentukan distribusi suatu sampel (Conover, 1999).

#### Hipotesis

$H_0: F_s(x) = F_0(x)$  (data berdistribusi normal)

$H_1: F_s(x) \neq F_0(x)$  (data tidak berdistribusi normal)

#### Tingkat Signifikansi

$\alpha = 0,05$

#### Statistik Uji

Statistik uji dapat dihitung menggunakan Persamaan (4)

$$D_{hitung} = \max|F_s(x) - F_0(x)| \quad (4)$$

dengan

$$F_s(x) = \frac{f_{kum}}{n} \quad (5)$$

$$F_0(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (6)$$

Keterangan:

$D_{hitung}$  : Selisih maksimum dari mutlak  $F_s(x)$  dan  $F_0(x)$

$F_s(x)$  : Distribusi frekuensi kumulatif empiris

$F_0(x)$  : Distribusi frekuensi kumulatif teoritis

$x_i$  : Sampel ke- $i$

$n$  : Jumlah data

### Daerah Penolakan

$H_0$  diterima jika  $D_{hitung} < D_{tabel}$

Harga kritis  $D$  untuk setiap nilai  $n$  dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai Kritis  $D$  untuk  $\alpha = 0,05$

Ukuran sampel ( $n$ )	Tingkat Signifikansi untuk $D$
1	0,95
2	0,776
3	0,642
4	0,564
5	0,510
⋮	⋮
30	0,24
35	0,23
$n > 35$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$

#### 1.4.2 Peta Kendali

Peta kendali adalah alat yang secara grafis memberi gambaran tentang perilaku sebuah proses (Mitra, 2016). Peta kendali digunakan untuk memonitor dan mengevaluasi suatu proses agar tetap berada dalam keadaan terkendali berdasarkan metode pengendalian statistik sehingga dapat dilakukan perbaikan kualitas apabila terdapat kerusakan atau cacat produk. Secara umum, pada peta kendali terdapat Garis Tengah (GT) dan dua batas kendali, yaitu Batas Kendali Atas (BKA) dan Batas Kendali Bawah (BKB). Apabila titik-titik terletak dalam batas kendali, maka proses dianggap terkendali atau *in control*. Sebaliknya apabila terdapat titik di luar batas kendali, maka proses tidak terkendali atau *out of control* (Montgomery, 2009). Semakin banyak jumlah data yang terdeteksi *out of control*, maka peta kendali lebih sensitif (Yanuar dkk., 2021).

#### 1.4.3 Proporsi Proses

Peta kendali memerlukan asumsi normalitas yang harus dipenuhi. Akan tetapi hal yang sering kali terjadi pada praktiknya, seringkali asumsi tersebut tidak terpenuhi. Oleh karena itu digunakan pendekatan baru, yaitu mendeteksi pergeseran *mean* dengan mendeteksi perubahan pada proporsi proses. Perubahan proporsi proses adalah kejadian ketika proporsi bergeser ke atas atau ke bawah dari garis tengah. Apabila suatu karakteristik kualitas  $X$  mempunyai *mean* target  $\mu$  atau diestimasi menggunakan persamaan  $\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m \times n}$  jika  $\mu$  tidak diketahui, maka  $Y = X - \mu$  merupakan penyimpangan  $X$  dari *mean* dan  $p = P(Y < 0)$  adalah proporsi proses (Yang dkk., 2011).

Memonitor *mean* proses suatu random sampel yang memiliki  $m$  sampel berukuran  $n$  dilakukan dengan terlebih dahulu mendefinisikan penyimpangan proses

pada Persamaan (7). Kemudian, data yang nilainya melampaui target diubah menjadi 0 dan diubah menjadi 1 jika nilainya memenuhi target sesuai Persamaan (8).

$$Y_{ij} = X_{ij} - \mu \quad (7)$$

$$I_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika } Y_{ij} \leq 0 \\ 0 & \text{jika } Y_{ij} > 0 \end{cases}; i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Selanjutnya dihitung nilai  $M_i$  yang merupakan jumlah data  $X_{ij}$  yang nilainya melampaui target atau *mean* ( $Y_{ij} > 0$ ) menggunakan Persamaan (9).

$$M_i = \sum_{j=1}^n I_{ij} \quad (9)$$

Kemudian, didefinisikan  $p_0$  yaitu proporsi proses terkendali yang diharapkan oleh perusahaan untuk mendeteksi perubahan proporsi proses. Ketika parameter  $p_0$  tidak diketahui, maka dapat diestimasi dengan Persamaan (10) (Yang dan Cheng, 2010).

$$p_i = \frac{M_i}{n}$$

$$\hat{p} = \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m M_i}{m} \quad (10)$$

dengan

- $M_i$  : Jumlah data  $X_{ij}$  yang nilainya berada melebihi target
- $p_i$  : Proporsi masing-masing sampel ke- $i$
- $\hat{p}$  : Estimasi *mean* proporsi proses
- $n$  : Jumlah sampel tiap pengamatan
- $m$  : Banyak pengamatan

#### 1.4.4 Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign*

Peta kendali EWMA nonparametrik merupakan alat untuk memantau proses produksi saat distribusi data yang mendasari tidak diketahui (Triantafyllou dan Ram, 2021). Peta kendali ini efektif dalam mendeteksi pergeseran kecil dalam proses dan tidak memerlukan asumsi tentang normalitas data (Raza dkk., 2022).

Statistik EWMA *sign* untuk ukuran sampel sebanyak  $m$  didefinisikan menjadi Persamaan (11).

$$Y_{M_i} = \lambda M_i + (1 - \lambda)Y_{M_{i-1}}; i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

dengan

- $Y_{M_i}$  : Statistik EWMA *sign* dari  $M_i$  pada sampel ke- $i$
- $M_i$  : Jumlah data  $X_{ij}$  yang nilainya berada melebihi target
- $\lambda$  : Parameter pembobot yang nilainya  $0 < \lambda < 1$ .

$M_i = \sum_{j=1}^n I_{ij}$  pada Persamaan (9) berdistribusi binomial dengan parameter  $(n, p)$  pada keadaan *in control*, maka nilai *mean* dan variansnya didefinisikan pada Persamaan (12) dan (13).

$$E(M_i) = np \quad (12)$$

$$Var(M_i) = npq \quad (13)$$

Diketahui bahwa  $Y_{M_0}$  adalah *mean* dari  $M_i$  yaitu  $Y_{M_0} = E(M_i) = np$  (Yang dkk., 2011). Selanjutnya dari Persamaan (11),  $Y_{M_i}$  dapat dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} Y_{M_i} &= \lambda M_i + (1 - \lambda)Y_{M_{i-1}} \\ &= \lambda M_i + (1 - \lambda)(\lambda M_{i-1} + (1 - \lambda)Y_{M_{i-2}}) \\ &= \lambda M_i + \lambda(1 - \lambda)M_{i-1} + (1 - \lambda)^2 Y_{M_{i-2}} \\ &= \lambda M_i + \lambda(1 - \lambda)M_{i-1} + (1 - \lambda)^2 [\lambda M_{i-2} + (1 - \lambda)Y_{M_{i-3}}] \\ &= \lambda M_i + \lambda(1 - \lambda)M_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 M_{i-2} + (1 - \lambda)^3 Y_{M_{i-3}} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan langkah yang sama hingga  $Y_{M_{i-t}}$  dengan  $t = 1, 2, 3, \dots, i$ . Sehingga diperoleh  $Y_{M_i}$  pada Persamaan (14).

$$\begin{aligned} Y_{M_i} &= \lambda M_i + \lambda(1 - \lambda)M_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 M_{i-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{i-1} M_1 + (1 - \lambda)^i Y_{M_0} \\ &= \lambda [M_i + (1 - \lambda)M_{i-1} + (1 - \lambda)^2 M_{i-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{i-1} M_1] + (1 - \lambda)^i Y_{M_0} \end{aligned}$$

maka

$$Y_{M_i} = \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t M_{i-t} \right) + (1 - \lambda)^i Y_{M_0} \quad (14)$$

Diketahui bahwa  $M_i \sim Bin(n, p)$  dan  $Y_{M_0} = E(M_i) = np$  maka *mean* dan variansi  $Y_{M_i}$  adalah

$$\begin{aligned} E(Y_{M_i}) &= E \left[ \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t M_{i-t} \right) + (1 - \lambda)^i Y_{M_0} \right] \\ &= E \left[ \lambda \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t M_{i-t} \right] + (1 - \lambda)^i np \\ &= \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t E[M_{i-t}] \right) + (1 - \lambda)^i np \\ &= \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t np \right) + (1 - \lambda)^i np \\ &= np \left( \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t \right) + (1 - \lambda)^i \right) \end{aligned}$$

dengan menggunakan formula barisan geometri dengan  $a = 1$ ,  $r = 1 - \lambda$  dan  $S_n = \frac{a(1-r^n)}{1-r}$ , maka nilai dari  $\sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t$  akan dijabarkan menjadi  $\sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t = 1 +$



$(1 - \lambda)^1 + (1 - \lambda)^2 + (1 - \lambda)^3 + \dots + (1 - \lambda)^{i-1} = \frac{1 - (1 - \lambda)^i}{1 - (1 - \lambda)}$ , sehingga diperoleh nilai *mean* dari  $Y_{M_i}$  pada Persamaan (15).

$$\begin{aligned} E(Y_{M_i}) &= np \left( \lambda \left( \frac{1 - (1 - \lambda)^i}{1 - (1 - \lambda)} \right) + (1 - \lambda)^i \right) \\ &= np(1 - (1 - \lambda)^i + (1 - \lambda)^i) \\ E(Y_{M_i}) &= np \end{aligned} \quad (15)$$

Setelah memperoleh nilai *mean* dari statistik EWMA *sign*, selanjutnya akan dicari nilai persebaran  $Y_{M_i}$  yaitu variansi untuk menghitung batas kendali.

$$\begin{aligned} Var(Y_{M_i}) &= Var[\lambda M_i + \lambda(1 - \lambda)M_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 M_{i-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{i-1} M_1 + \\ &\quad (1 - \lambda)^i Y_{M_0}] \\ &= Var(\lambda M_i) + Var(\lambda(1 - \lambda)M_{i-1}) + Var(\lambda(1 - \lambda)^2 M_{i-2}) + \dots + \\ &\quad Var(\lambda(1 - \lambda)^{i-1} M_1) + Var((1 - \lambda)^i Y_{M_0}) \end{aligned}$$

diketahui  $Var(c) = 0$  untuk  $c$  adalah konstanta, maka  $Var((1 - \lambda)^i Y_{M_0}) = 0$

$$\begin{aligned} Var(Y_{M_i}) &= \lambda^2 Var(M_i) + (\lambda(1 - \lambda))^2 Var(M_{i-1}) + (\lambda(1 - \lambda)^2)^2 Var(M_{i-2}) + \dots + \\ &\quad (\lambda(1 - \lambda)^{i-1})^2 Var(M_1) \\ &= \lambda^2(np(1 - p)) + \lambda^2(1 - \lambda)^2(np(1 - p)) + \lambda^2(1 - \lambda)^4(np(1 - p)) + \dots + \\ &\quad \lambda^2(1 - \lambda)^{2(i-1)}(np(1 - p)) \\ &= \lambda^2(np(1 - p)) [1 + (1 - \lambda)^2 + \lambda^2(1 - \lambda)^4 + \dots + \lambda^2(1 - \lambda)^{2(i-1)}] \end{aligned}$$

dengan menggunakan formula barisan geometri dengan  $a = 1$ ,  $r = (1 - \lambda)^2$  dan  $S_n = \frac{a(1 - r^n)}{1 - r}$ , maka nilai dari  $1 + (1 - \lambda)^2 + \lambda^2(1 - \lambda)^4 + \dots + \lambda^2(1 - \lambda)^{2(i-1)}$  dapat dinyatakan menjadi  $\frac{1 - (1 - \lambda)^{2i}}{1 - (1 - \lambda)^2}$ , sehingga diperoleh nilai variansi dari  $Y_{M_i}$  yang didefinisikan pada Persamaan (16).

$$\begin{aligned} Var(Y_{M_i}) &= \lambda^2(np(1 - p)) \left( \frac{1 - (1 - \lambda)^{2i}}{1 - (1 - \lambda)^2} \right) \\ &= (np(1 - p)) \left( \frac{\lambda}{1 - (1 - \lambda)^2} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \right) \\ &= (np(1 - p)) \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \right) \end{aligned} \quad (16)$$

jika  $i$  pada Persamaan (16) mendekati tak hingga maka  $\lim_{i \rightarrow \infty} (1 - \lambda)^{2i} = 0$  dan diperoleh Persamaan (17).

$$Var(Y_{M_i}) = Var(M_i) \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) \quad (17)$$

Setelah diperoleh nilai *mean* dan variansi dari statistik  $Y_{M_i}$ , didefinisikan batas-batas peta kendali EWMA *sign* yaitu Batas Kendali Atas (BKA), Garis Tengah (GT), dan Batas Kendali Bawah (BPB) berturut-turut pada Persamaan (18), Persamaan (19), dan Persamaan (20).

$$BKA = np + L \sqrt{Var(M_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \right)} \quad (18)$$

$$GT = np \quad (19)$$

$$BKB = np - L \sqrt{Var(M_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \right)} \quad (20)$$

dengan  $L$  adalah lebar batas kendali, dari grafik EWMA *sign*. Proses dikatakan tidak terkendali atau *out of control* apabila nilai  $Y_{M_i}$  berada diluar batas kendali, yaitu ketika nilai  $Y_{M_i}$  lebih besar dari BKA ( $Y_{M_i} > BKA$ ) atau lebih kecil dari BKB ( $Y_{M_i} < BKB$ ).

#### 1.4.5 Transformasi Arcsin untuk Distribusi Binomial

Peta kendali arcsin EWMA nonparametrik menggunakan transformasi arcsin untuk mengatasi masalah distribusi pada data dengan mentransformasi data binomial menjadi berdistribusi normal. Oleh karena itu, akan dibahas terlebih dahulu tentang transformasi arcsin untuk distribusi binomial. Variabel  $M \sim Bin(n, p)$  akan ditransformasi menggunakan transformasi arcsin sehingga akan berdistribusi normal dan bisa digunakan dalam peta kendali. Transformasi stabilisasi variansi untuk distribusi binomial yang paling umum digunakan adalah transformasi arcsin yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (21).

$$Z = \arcsin \sqrt{\frac{M}{n}} \quad (21)$$

Persamaan (22) merupakan persamaan fungsi massa peluang atau *Probability Mass Function* (PMF) untuk distribusi binomial.

$$f(M) = \frac{n!}{M! (n - M)!} p^M q^{n-M} \quad (22)$$

dengan

$M$  : Jumlah percobaan sukses/keberhasilan

$n$  : Jumlah percobaan

$p$  : Peluang percobaan sukses

$q$  : Peluang percobaan gagal

Berdasarkan teorema limit pusat yang menerangkan bahwa sampel yang berasal dari distribusi normal maupun tidak normal, maka distribusi *sampling* dari rata-rata sampel akan mendekati distribusi normal seiring kenaikan ukuran sampel (Sungkono dan Wulandari, 2022). Oleh karena itu,  $f(M)$  akan mendekati distribusi normal pada saat  $n$  besar. Selanjutnya  $f(M)$  akan ditransformasi berdasarkan transformasi variabel acak fungsi kontinu. Berdasarkan Persamaan (21), maka

$$M = n \sin^2 Z$$

Sehingga diperoleh PMF dari  $Z$  yang didefinisikan pada Persamaan (23).

$$\begin{aligned} p(Z) &= f(M) \left| \frac{dM}{dZ} \right| \\ p(Z) &= f(n \sin^2 Z) \left| \frac{d(n \sin^2 Z)}{dZ} \right| \end{aligned} \quad (23)$$

dengan matriks *Jacobian*

$$J = \frac{d(n \sin^2 Z)}{dZ} = 2n \sin Z \cos Z$$

sehingga PMF didefinisikan pada Persamaan (24).

$$p(Z) = \frac{n!}{(n \sin^2 Z)! (n - n \sin^2 Z)!} 2n \sin Z \cos Z p^{n \sin^2 Z} q^{n - n \sin^2 Z} \quad (24)$$

Pembuktian bahwa bentuk distribusi akan mendekati distribusi normal pada nilai  $n$  yang besar dilakukan dengan cara melakukan ekspansi deret *Taylor* di sekitar nilai maksimumnya. Deret *Taylor* dari suatu fungsi  $f(x)$  didefinisikan pada Persamaan (25).

$$f(a + h) = f(a) + hf'(a) + \frac{h^2}{2!} f''(a) + \dots + \frac{h^{(n-1)}}{(n-1)!} f^{(n-1)}(a) + \dots \quad (25)$$

Misal  $Z'$  menjadi posisi maksimum dari  $p(Z)$  sehingga  $Z = Z' + y$ . Selanjutnya dilakukan ekspansi pada logaritma natural distribusi tersebut pada Persamaan (26).

$$\ln[p(Z)] = \ln[p(Z' + y)] = \ln[p(Z')] + yB_1 + \frac{y^2}{2!} B_2 + \frac{y^3}{3!} B_3 + \dots \quad (26)$$

dengan

$$B_k = \left. \frac{d^k \ln[p(Z)]}{dZ^k} \right|_{Z=Z'} \quad (27)$$

Ekspansi yang dilakukan di sekitar posisi maksimum menyebabkan nilai  $B_1 = 0$  dan  $B_2$  bernilai negatif ( $B_2 = -|B_2|$ ). Sebelum menghitung nilai  $B_k$ ,  $p(Z)$  pada Persamaan (24) diubah menjadi bentuk logaritma natural.

$$\ln[p(Z)] \approx n \ln n + \frac{1}{2} \ln n + n \sin^2 Z \ln p - n \sin^2 Z \ln(n \sin^2 Z) + n \ln q - n \sin^2 Z \ln q - n \ln(n \cos^2 Z) + n \sin^2 Z \ln(n \cos^2 Z) + \ln \sqrt{\frac{Z}{\pi}}$$

Selanjutnya akan dihitung nilai turunan pertama menggunakan Persamaan (27).

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{d \ln[p(Z)]}{dZ} \approx 2n \sin Z \cos Z \ln p - 2n \sin Z \cos Z \ln(n \sin^2 Z) - 2n \sin Z \cos Z \\ &\quad - 2n \sin Z \cos Z \ln q + \frac{2n \sin Z}{\cos Z} - \frac{2n \sin^3 Z}{\cos Z} + 2n \sin Z \cos Z \ln(n \cos^2 Z) \\ B_1 &= 2n \sin Z \cos Z \ln \frac{p}{q} + 2n \sin Z \cos Z \ln \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} \end{aligned} \quad (28)$$

Diketahui bahwa  $B_1 = 0$ , maka

$$\begin{aligned} 2n \sin Z \cos Z \ln \frac{p}{q} + 2n \sin Z \cos Z \ln \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} &= 0 \\ \ln \left( \frac{p}{q} \right) \left( \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} \right) &= 0 \\ \left( \frac{p}{q} \right) \left( \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} \right) &= 1 \\ \left( \frac{p}{q} \right) &= \left( \frac{\sin^2 Z}{\cos^2 Z} \right) \end{aligned}$$

Diketahui bahwa  $\cos^2 Z = 1 - \sin^2 Z$  dan  $q = 1 - p$ , maka diperoleh nilai  $p$ .

$$\left( \frac{p}{1-p} \right) = \left( \frac{\sin^2 Z}{1 - \sin^2 Z} \right)$$

$$p = \sin^2 Z$$

maka nilai  $Z$  dapat dihitung menggunakan Persamaan (29).

$$Z = \arcsin \sqrt{p} \quad (29)$$

Kemudian dihitung nilai  $B_k$  untuk  $k = 2, 3, \dots$

$$\begin{aligned} B_2 &= \frac{d^2 \ln[p(Z)]}{dZ^2} \approx 2n \cos^2 Z \ln \left( \frac{p}{q} \right) - 2n \sin^2 Z \ln \left( \frac{p}{q} \right) + 2n \cos^2 Z \ln \left( \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} \right) - \\ &\quad 2n \sin^2 Z \ln \left( \frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z} \right) - 4n \end{aligned}$$

$$B_2 = -4n \quad (30)$$

$$B_3 = \frac{d^3 \ln[p(Z)]}{dZ^3} \approx -8n \cos Z \sin Z \ln\left(\frac{p}{q}\right) - 8n \cos Z \sin Z \ln\left(\frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z}\right) + 4n \frac{\sin Z}{\cos Z} - 4n \frac{\cos Z}{\sin Z}$$

$$B_3 = 4n \left[ \sqrt{\frac{p}{q}} - \sqrt{\frac{q}{p}} \right] \quad (31)$$

$$B_4 = \frac{d^4 \ln[p(Z)]}{dZ^4} \approx 8n(\sin^2 Z - \cos^2 Z) \ln\left(\frac{p}{q}\right) + 8n(\sin^2 Z - \cos^2 Z) \ln\left(\frac{\cos^2 Z}{\sin^2 Z}\right) + 4n \left( \frac{1}{\sin^2 Z} - \frac{1}{\cos^2 Z} \right) + 16N$$

$$B_4 = 4n \left[ 4 + \frac{1}{p} - \frac{1}{q} \right] \quad (32)$$

Setiap peningkatan suku dalam deret *Taylor*, maka akan semakin kecil atau berkurang secara signifikan dibandingkan suku sebelumnya. Oleh karena itu, untuk sampel besar, pendekatan menggunakan suku-suku deret *Taylor* yang lebih rendah menjadi lebih akurat. Hasil ekspansi *Taylor* dapat dilihat pada Persamaan (33).

$$\ln[p(Z' + y)] = \ln[p(Z')] + yB_1 + \frac{y^2}{2!}B_2 \quad (33)$$

Diketahui  $B_1 = 0$  karena ekspansi yang dilakukan di sekitar maksimum, maka dihasilkan  $p(Z)$  pada Persamaan (34).

$$p(Z) = p(Z')e^{-|B_2|\frac{y^2}{2}} \quad (34)$$

Kemudian, diasumsikan bahwa distribusinya kontinu dengan tujuan menormalisasi dan didefinisikan pada Persamaan (35).

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{Z=0}^n p(Z) &\approx \int p(Z) = \int_{-\infty}^{\infty} p(Z' + y) dy = 1 \\ &\int_{-\infty}^{\infty} p(Z')e^{-|B_2|\frac{y^2}{2}} dy = 1 \\ p(Z') \sqrt{\frac{2\pi}{|B_2|}} &= 1 \\ p(Z') &= \sqrt{\frac{|B_2|}{2\pi}} \end{aligned} \quad (35)$$

Sebelumnya telah diperoleh nilai  $B_2 = 4n$ . Selain itu, diketahui bahwa  $y = Z - Z'$  dan  $Z' = \arcsin \sqrt{p}$ . Sehingga diperoleh PMF dari  $Z$  pada Persamaan (36).

$$p(Z) = \sqrt{\frac{2n}{\pi}} e^{-2n(Z - \arcsin \sqrt{p})^2} \quad (36)$$

Jika dibandingkan dengan PMF distribusi normal pada Persamaan (37)

$$p(N) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(N-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (37)$$

maka diperoleh persamaan untuk *mean* dan *varians*  $Z$  pada Persamaan (38) dan (39).

$$\mu = \arcsin \sqrt{p} \quad (38)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4n}} \quad (39)$$

#### 1.4.6 Peta Kendali Arcsin Exponentially Weighted Moving Average Nonparametrik

Variabel  $M_i \sim \text{Bin}(n, p)$  yang berdistribusi binomial juga dapat ditransformasi menjadi normal menggunakan transformasi arcsin (Mosteller dan Youtz, 2006).

$$Z_i = \arcsin \left( \sqrt{\frac{M_i}{n}} \right) \quad (40)$$

dengan

$Z_i$  : Variabel  $Z$  pada sampel ke- $i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, m$

$M_i$  : Jumlah data  $X_{ij}$  yang nilainya berada melebihi target

$n$  : Jumlah sampel tiap pengamatan.

dengan *mean* dan *variansi* yang didefinisikan pada Persamaan (41) dan (42).

$$E(Z_i) = \arcsin(\sqrt{p}) \quad (41)$$

$$\text{Var}(Z_i) = \frac{1}{4n} \quad (42)$$

Statistik arcsin EWMA nonparametrik setelah berdistribusi normal ditunjukkan pada Persamaan (43)

$$Y_i = \lambda Z_i + (1 - \lambda) Y_{i-1} \quad (43)$$

- $Y_i$  : Nilai statistik arcsin EWMA dari  $Z$  pada sampel ke- $i$   
 $Z_i$  : Variabel  $Z$  pada sampel ke- $i$   
 $\lambda$  : Parameter pembobot yang nilainya  $0 < \lambda \leq 1$

Peta kendali memiliki batas-batas pengendali. Statistik  $Y_i$  pada Persamaan (43) diplot terhadap Batas Kendali Atas (BKA), Garis Tengah (GT), dan Batas Kendali Bawah (BKB). Batas pengendali peta arcsin EWMA nonparametrik didefinisikan pada Persamaan (44), (45), dan (46) (Yang dkk., 2011).

$$BKA = \arcsin(\sqrt{p}) + L \sqrt{\text{Var}(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right)} \quad (44)$$

$$GT = \arcsin(\sqrt{p}) \quad (45)$$

$$BKB = \arcsin(\sqrt{p}) - L \sqrt{\text{Var}(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right)} \quad (46)$$

Nilai  $\lambda$  yang kecil digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses yang kecil, sedangkan nilai  $\lambda$  yang besar lebih sensitif terhadap pergeseran yang besar (Trimardiani dkk., 2021). Secara umum, nilai faktor pembobot yang mempunyai kinerja baik khususnua untuk pergeseran *mean* proses yang kecil adalah dalam interval  $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$ . Adapun nilai  $\lambda$  yang populer atau paling sering digunakan dalam interval tersebut adalah  $\lambda = 0,05$ ,  $\lambda = 0,10$ , dan  $\lambda = 0,20$ . Aturan praktisnya adalah menggunakan nilai  $\lambda$  yang lebih kecil untuk mendeteksi pergeseran kecil (Kalgonda dan Koshti, 2013).

#### 1.4.7 Average Run Length

*Average Run Length* (ARL) merupakan rata-rata jumlah pengamatan yang harus diplot pada peta kendali sebelum suatu titik menunjukkan keadaan tidak terkendali. Berdasarkan definisi ini, maka ARL berfungsi untuk mengukur efektifitas kinerja peta kendali dalam mendeteksi perubahan pada proses (Andini dkk., 2021). Performa dari peta kendali dinilai oleh dua tipe ARL yaitu  $ARL_0$  (*ARL in control*) dan  $ARL_1$  (*ARL out of control*). Suatu peta kendali diharapkan memiliki nilai  $ARL_0$  yang besar dan nilai  $ARL_1$  yang kecil (Yanuar dkk., 2021). Penentuan ARL dapat dilakukan dengan 3 pendekatan, yaitu integral, simulasi, dan Rantai Markov (Lu dan Reynolds Jr, 2001).

Penentuan ARL dengan pendekatan Rantai Markov untuk peta kendali EWMA dikembangkan oleh Brook dan Evans (1972). Nilai ARL dengan pendekatan Rantai Markov diperoleh menggunakan matriks peluang transisi. Matriks peluang transisi dibentuk dengan menentukan interval antara nilai BKA dan BKB menjadi  $N$  interval dengan lebar masing-masing interval adalah  $\delta$  yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan (47).

$$\delta = \frac{BKA - BKB}{N} \quad (47)$$

Terdapat ujung dari masing-masing subinterval ke- $j$  pada rantai Markov yaitu adalah  $B_j$  (ujung bawah) dan  $A_j$  (ujung atas) yang didefinisikan pada Persamaan (48) dan Persamaan (49).

$$B_j = BKB + \frac{(j-1)(BKA - BLB)}{N} \quad (48)$$

$$A_j = BKB + \frac{j(BKA - BKB)}{N} \quad (49)$$

Titik tengah ( $T_i$ ) pada subinterval ke- $i$  didefinisikan pada Persamaan (50)

$$T_i = BKB + \frac{(2i-1)(BKA - BKB)}{2N} \quad (50)$$

Berdasarkan informasi tersebut, akan ditentukan matriks peluang transisi dengan menggunakan matriks  $\mathbf{Q}$ . Elemen matriks  $\mathbf{Q}$  untuk baris dan kolom ditandai dengan banyaknya  $N$ . Sehingga matriks  $\mathbf{Q} = [p_{ij}]$  dan dengan nilai peluang transisi  $p$  yang merupakan perpindahan dari keadaan  $i$  ke keadaan  $j$  dinyatakan sebagai Persamaan (51).

$$p_{ij} = P(B_j < Y_i < A_j | Y_{i-1} = T_i) \quad (51)$$

$$p_{ij} = P(B_j < \lambda Z_i + (1-\lambda)Y_{i-1} < A_j | Y_{i-1} = T_i)$$

$$p_{ij} = P(B_j < \lambda Z_i + (1-\lambda)T_i)$$

$$p_{ij} = P\left(BKB + \frac{(j-1)(BKA-BKB)}{N} < \lambda Z_i + (1-\lambda)\left(BKB + \frac{(2i-1)(BKA-BKB)}{2N}\right) < BKB + \frac{j(BKA-BKB)}{N}\right)$$

$$p_{ij} = P\left(BKB + \frac{BKA-BKB}{2N\lambda}(2(j-1) - (1-\lambda)(2i-1)) < Z_i < BKB + \frac{BKA-BKB}{2N\lambda}(2j - (1-\lambda)(2i-1))\right)$$

$$p_{ij} = Z < \left(BKB + \frac{BKA-BKB}{2N\lambda}(2j - (1-\lambda)(2i-1))\right) - Z < \left(BKB + \frac{BKA-BKB}{2N\lambda}(2(j-1) - (1-\lambda)(2i-1))\right) \quad (52)$$

Misalkan  $\mathbf{Q}$  adalah matriks yang diperoleh dari matriks peluang transisi  $\mathbf{P}$  diantara keadaan-keadaan dalam kendali. Huang dkk. (2013) menunjukkan bahwa ARL EWMA nonparametrik dihitung menggunakan Persamaan (53).

$$ARL = \mathbf{R}'(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}\mathbf{1} \quad (53)$$

dengan  $\mathbf{Q}$  adalah matriks peluang transisi untuk status *transient* (proses dalam terkendali) berukuran  $N \times N$  yang berisi elemen  $p_{ij}$  dan  $\mathbf{R}$  adalah vektor kolom



berukuran  $N \times 1$ . Vektor  $\mathbf{R}$  berisi elemen  $R_i$  yang merupakan peluang awal. Diasumsikan  $\mathbf{R} = (1, 0, \dots, 0)$  (Perdikis dkk., 2021).  $\mathbf{I}$  adalah matriks identitas berukuran  $N \times N$  serta  $\mathbf{1}$  adalah vektor kolom berukuran  $N \times 1$  yang semua elemennya adalah 1.

#### 1.4.8 CV LapaKlapa

CV LapaKlapa merupakan perusahaan manufaktur di bidang industri pangan yang didirikan pada tahun 2017 dan berlokasi di Gorontalo. Perusahaan ini memproduksi beberapa produk turunan kelapa, salah satunya adalah VCO. Produksi VCO oleh CV LapaKlapa semakin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan peningkatan permintaan konsumen. Untuk menjaga kepercayaan pelanggan dan mengurangi kerugian bagi perusahaan, proses produksi akan menjadi perhatian khusus. Produksi VCO dilakukan dalam beberapa tahap, mulai dari pemarkasan kelapa hingga penyaringan minyak. Hasil produksi VCO diharapkan memenuhi standar karakteristik kualitas VCO yang diinginkan perusahaan.

Salah satu karakteristik kualitas VCO adalah kadar air. Tingginya kadar air yang terkandung dalam VCO dapat menyebabkan terjadinya proses oksidasi yang mengakibatkan minyak berbau tengik. Target persentase air yang diinginkan perusahaan sesuai dengan SNI 7381-2008 yaitu maksimal 0,20% (Pine dan Khatimah, 2024). Namun, terkadang terjadi kesalahan pada beberapa proses, baik proses fermentasi yang tidak maksimal maupun kesalahan pada proses pengeringan. Contoh VCO yang diproduksi oleh CV LapaKlapa dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Produk VCO CV LapaKlapa

## BAB II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari CV LapaKlapa. Data yang digunakan adalah data parameter kualitas produk Cocobi yang merupakan produk minyak kelapa murni atau VCO yang diproduksi di pabrik CV LapaKlapa pada tanggal 3 Juli hingga 30 Oktober 2023. Produksi VCO di CV LapaKlapa dilakukan sebanyak tiga kali dalam satu pekan karena produksi VCO membutuhkan waktu dua hari hingga menghasilkan produk jadi yaitu Cocobi. Pengambilan data dilakukan sebanyak 52 kali pengamatan dengan menggunakan 10 observasi VCO pada setiap pengamatan yang dilakukan. Variabel yang diteliti adalah persentase kandungan air dalam VCO dengan syarat mutu 0,20% dapat dilihat pada Lampiran 1.

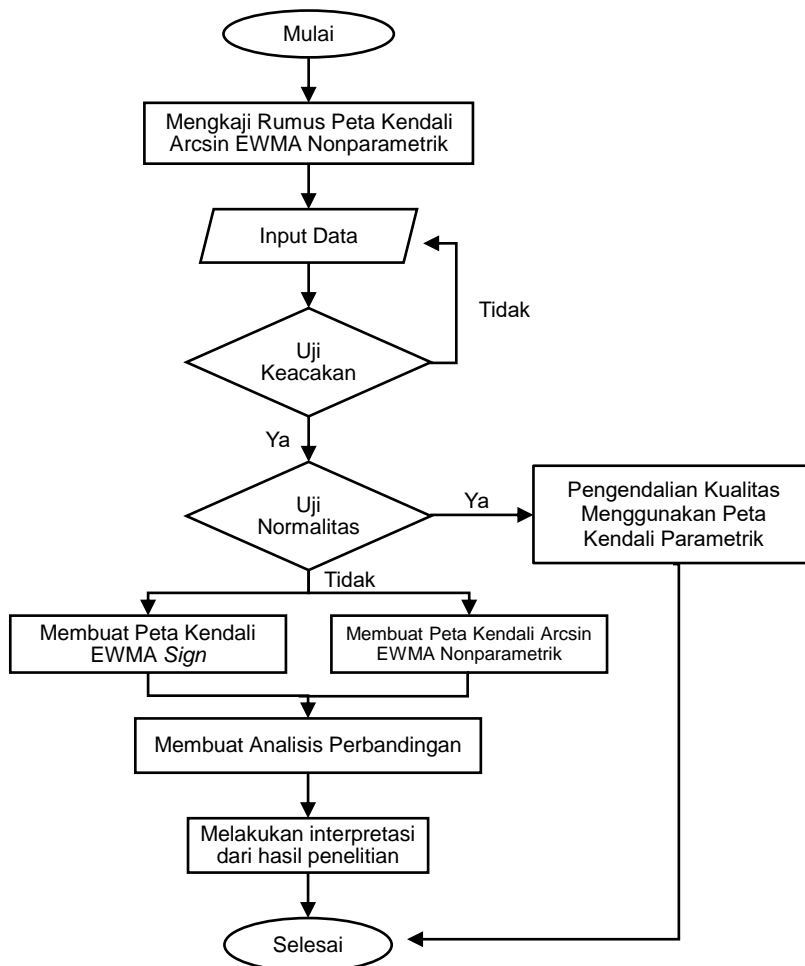
### 2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan *software* Microsoft Excel dan *R Studio* dalam menyelesaikan proses perhitungan. Adapun tahapan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah

1. Melakukan uji keacakan data (*run test*) pada data presentase kandungan air dalam *Virgin Oil Coconut* menggunakan Persamaan (1).
2. Melakukan pengujian normalitas *Kolmogorov-Smirnov* pada data presentase kandungan air dalam *Virgin Oil Coconut* menggunakan Persamaan (4).
3. Mengkaji rumus batas pengendali peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik.
4. Menghitung nilai  $p$  menggunakan Persamaan (10).
5. Membentuk peta kendali EWMA *sign*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk peta kendali EWMA *sign* adalah sebagai berikut:
  - a. Menghitung  $M_i$  dari setiap sampel menggunakan Persamaan (9).
  - b. Menentukan nilai parameter pembobot yaitu  $\lambda$  dan nilai parameter batas kendali yaitu  $L$ .
  - c. Menghitung nilai statistik EWMA *sign*,  $Y_{M_i}$  untuk setiap sampel menggunakan Persamaan (13).
  - d. Menghitung batas-batas kendali yaitu BKA, GT, dan BKB menggunakan Persamaan (18), (19), dan (20).
  - e. Membentuk peta kendali berdasarkan nilai statistik  $Y_{M_i}$  dan batas-batas kendali yang telah dihitung sebelumnya.
6. Membentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik. Langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik adalah sebagai berikut:
  - a. Menghitung  $Z_i$  dari setiap sampel menggunakan Persamaan (40).
  - b. Menentukan nilai parameter pembobot yaitu  $\lambda$  dan nilai parameter batas kendali yaitu  $L$ .

- c. Menghitung nilai statistik arcsin EWMA,  $Y_i$  untuk setiap sampel menggunakan Persamaan (43).
  - d. Menghitung batas-batas kendali yaitu BKA, GT, dan BKB menggunakan Persamaan (44), (45), dan (46).
  - e. Membentuk peta kendali berdasarkan nilai statistik  $Y_i$  dan batas-batas kendali yang telah dihitung sebelumnya.
7. Membuat analisis perbandingan kedua peta kendali berdasarkan nilai ARL yang dihitung menggunakan Persamaan (53).
  8. Melakukan interpretasi dari hasil penelitian.

### 2.3 Diagram Alir



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

### BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Teoritis Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik

Statistik arcsin EWMA nonparametrik setelah ditransformasi telah didefinisikan pada Persamaan (43).

$$Y_i = \lambda Z_i + (1 - \lambda)Y_{i-1}$$

dengan

$Y_i$  : Statistik arcsin EWMA nonparametrik dari  $Z_i$  pada sampel ke- $i$ .

$Z_i$  : Variabel  $Z$  pada sampel ke- $i$ .

$\lambda$  : Parameter pembobot yang nilainya  $0 < \lambda < 1$ .

Diketahui bahwa  $Y_0$  adalah *mean* dari  $Z_i$  (Yang dkk., 2011). Sebelumnya telah diperoleh *mean* dan variansi  $Z_i$  pada Persamaan (41) dan (42) sehingga  $Y_0 = E(Z_i) = \arcsin(\sqrt{p})$ . Selanjutnya, dari Persamaan (43),  $Y_i$  dapat dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} Y_i &= \lambda Z_i + (1 - \lambda)Y_{i-1} \\ &= \lambda Z_i + (1 - \lambda)(\lambda Z_{i-1} + (1 - \lambda)Y_{i-2}) \\ &= \lambda Z_i + \lambda(1 - \lambda)Z_{i-1} + (1 - \lambda)^2 Y_{i-2} \\ &= \lambda Z_i + \lambda(1 - \lambda)Z_{i-1} + (1 - \lambda)^2 [\lambda Z_{i-2} + (1 - \lambda)Y_{i-3}] \\ &= \lambda Z_i + \lambda(1 - \lambda)Z_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 \lambda Z_{i-2} + (1 - \lambda)^3 Y_{i-3} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan langkah yang sama hingga  $Y_{i-t}$  dengan  $t = 1, 2, 3, \dots, i$ . Sehingga diperoleh Persamaan (54).

$$\begin{aligned} Y_i &= \lambda Z_i + \lambda(1 - \lambda)Z_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 Z_{i-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{i-1} Z_1 + (1 - \lambda)^i Y_0 \\ &= \lambda [Z_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} + (1 - \lambda)^2 Z_{i-2} + \dots + \lambda(1 - \lambda)^{i-1} Z_1] + (1 - \lambda)^i Y_0 \end{aligned}$$

maka

$$Y_i = \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t Z_{i-t} \right) + (1 - \lambda)^i Y_0 \quad (54)$$

*Mean* dan variansi  $Y_i$  adalah

$$E(Y_i) = E \left[ \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t Z_{i-t} \right) + (1 - \lambda)^i Y_0 \right]$$

dengan  $Y_0 = \arcsin(\sqrt{p})$ , maka

$$\begin{aligned} &= E \left[ \lambda \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t Z_{i-t} \right] + (1 - \lambda)^i \left( \arcsin(\sqrt{p}) \right) \\ &= \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t E[Z_{i-t}] \right) + (1 - \lambda)^i \left( \arcsin(\sqrt{p}) \right) \\ &= \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t \left( \arcsin(\sqrt{p}) \right) \right) + (1 - \lambda)^i \left( \arcsin(\sqrt{p}) \right) \\ &= \left( \arcsin(\sqrt{p}) \right) \left( \lambda \left( \sum_{t=0}^{i-1} (1 - \lambda)^t \right) + (1 - \lambda)^i \right) \end{aligned}$$

dengan menggunakan formula barisan geometri dengan  $a = 1$ ,  $r = 1 - \lambda$  dan  $S_n = \frac{a(1-r^{n+1})}{1-r}$ , maka nilai dari  $\sum_{t=0}^{i-1} (1-\lambda)^t$  akan dijabarkan menjadi  $\sum_{t=0}^{i-1} (1-\lambda)^t = 1 + (1-\lambda)^1 + (1-\lambda)^2 + (1-\lambda)^3 + \dots + (1-\lambda)^{i-1} = \frac{1-(1-\lambda)^i}{1-(1-\lambda)}$ , sehingga diperoleh nilai *mean* dari  $Y_i$  pada Persamaan (55).

$$\begin{aligned} E(Y_i) &= \arcsin(\sqrt{p}) \left( \lambda \left( \frac{1 - (1-\lambda)^i}{1 - (1-\lambda)} \right) + (1-\lambda)^i \right) \\ &= \arcsin(\sqrt{p}) (1 - (1-\lambda)^i + (1-\lambda)^i) \\ &= \arcsin(\sqrt{p}) \end{aligned} \quad (55)$$

Setelah memperoleh nilai *mean* dari statistik arcsin EWMA nonparametrik, selanjutnya akan dicari nilai persebaran  $Y_i$  yaitu variansi untuk menghitung batas kendali.

$$\begin{aligned} \text{Var}(Y_i) &= \text{Var}[\lambda Z_i + \lambda(1-\lambda)Z_{i-1} + \lambda(1-\lambda)^2 Z_{i-2} + \dots + \lambda(1-\lambda)^{i-1} Z_1 + (1-\lambda)^i Y_0] \\ &= \text{Var}(\lambda Z_i) + \text{Var}(\lambda(1-\lambda)Z_{i-1}) + \text{Var}(\lambda(1-\lambda)^2 Z_{i-2}) + \dots + \\ &\quad \text{Var}(\lambda(1-\lambda)^{i-1} Z_1) + \text{Var}((1-\lambda)^i Y_0) \end{aligned}$$

Diketahui  $\text{Var}(c) = 0$  untuk  $c$  adalah konstanta, maka  $\text{Var}((1-\lambda)^i Y_0) = 0$

$$\begin{aligned} \text{Var}(Y_i) &= \lambda^2 \text{Var}(Z_i) + (\lambda(1-\lambda))^2 \text{Var}(Z_{i-1}) + (\lambda(1-\lambda)^2)^2 \text{Var}(Z_{i-2}) + \dots + (\lambda(1-\lambda)^{i-1})^2 \text{Var}(Z_1) \\ &= \lambda^2 \text{Var}(Z_i) + \lambda^2 (1-\lambda)^2 \text{Var}(Z_i) + \lambda^2 (1-\lambda)^4 \text{Var}(Z_i) + \dots + \\ &\quad \lambda^2 (1-\lambda)^{2(i-1)} \text{Var}(Z_i) \\ &= \lambda^2 \text{Var}(Z_i) [1 + (1-\lambda)^2 + \lambda^2 (1-\lambda)^4 + \dots + \lambda^2 (1-\lambda)^{2(i-1)}] \end{aligned}$$

dengan menggunakan formula barisan geometri dengan  $a = 1$ ,  $r = (1-\lambda)^2$  dan  $S_n = \frac{a(1-r^{n+1})}{1-r}$ , maka nilai dari  $1 + (1-\lambda)^2 + \lambda^2 (1-\lambda)^4 + \dots + \lambda^2 (1-\lambda)^{2(i-1)}$  dapat dinyatakan menjadi  $\frac{1-(1-\lambda)^{2i}}{1-(1-\lambda)^2}$ , sehingga diperoleh nilai variansi dari  $Y_i$  pada Persamaan (56).

$$\begin{aligned} \text{Var}(Y_i) &= \lambda^2 \text{Var}(Z_i) \left( \frac{1 - (1-\lambda)^{2i}}{1 - (1-\lambda)^2} \right) \\ &= \text{Var}(Z_i) \left( \frac{\lambda^2}{1 - (1-\lambda)^2} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right) \\ &= \text{Var}(Z_i) \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right) \end{aligned} \quad (56)$$

jika  $i$  pada Persamaan (56) mendekati tak hingga maka  $\lim_{i \rightarrow \infty} (1-\lambda)^{2i} = 0$  dan diperoleh Persamaan (57).



20/10/2023	0,18	0,21	0,17	0,17	0,20	0,19	0,18	0,20	0,22	0,17
23/10/2023	0,19	0,19	0,20	0,18	0,18	0,21	0,16	0,18	0,19	0,16
25/10/2023	0,16	0,19	0,17	0,17	0,18	0,16	0,18	0,20	0,20	0,22
27/10/2023	0,17	0,19	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,21	0,22	0,19
30/10/2023	0,16	0,21	0,18	0,19	0,19	0,20	0,17	0,17	0,18	0,22

Rata-rata persentase air dalam VCO sebesar 0,193 dengan nilai standar deviasi sebesar 0,019. Data persentase air dalam VCO menyentuh nilai terendah pada angka 0,150 dan tertinggi pada angka 0,240. Pada pembentukan peta kendali, salah satu asumsi yang harus dipenuhi adalah data harus berasal dari populasi yang acak. Sehingga terlebih dahulu dilakukan uji keacakan data.

### 3.3 Pengujian Asumsi

#### 3.3.1 Uji Keacakan Data

Asumsi pertama yang harus dipenuhi dalam pengendalian kualitas menggunakan peta kendali adalah sampel diambil secara acak. Berdasarkan Persamaan (1) dengan hasil perhitungan nilai  $Z_{hitung}$  pada Lampiran 2 menggunakan  $\alpha = 0,05$ , maka hasil *run test* data dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Uji Keacakan Data

Sampel	$Z_{hitung}$	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$	Keterangan
1	-0,562	1,96	Data Acak
2	0,000		Data Acak
3	0,140		Data Acak
4	0,843		Data Acak
5	-0,562		Data Acak
⋮	⋮		⋮
50	-1,264		Data Acak
51	-1,264		Data Acak
52	0,000		Data Acak

Data dikatakan berasal dari populasi yang acak apabila nilai  $-Z_{\frac{\alpha}{2}} < Z_{hitung} < Z_{\frac{\alpha}{2}}$ . Nilai  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$  untuk  $\alpha = 0,05$  adalah 1,96. Berdasarkan Tabel 2, diperoleh bahwa nilai  $Z_{hitung}$  sampel 1 hingga sampel 52 berada diantara nilai  $-Z_{\frac{\alpha}{2}}$  dan  $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa data kandungan air pada produksi VCO CV LapaKlapa diambil dari populasi yang acak. Selanjutnya asumsi yang juga harus dipenuhi dalam membuat peta kendali adalah data berdistribusi normal. Oleh karena itu, dilakukan uji asumsi normalitas data terlebih dahulu.

### 3.3.2 Uji Normalitas Data

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui data yang digunakan berdistribusi normal atau tidak. Berdasarkan Persamaan (4) dengan hasil perhitungan nilai  $D_{hitung}$  pada Lampiran 3 menggunakan  $\alpha = 0,05$ , maka hasil uji normalitas data dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Uji Kolmogorov-Smirnov

Nilai	$D_{hitung}$	$D_{tabel}$
Deviasi	0,240	0,084

Tabel 4 diatas menunjukkan nilai  $D_{hitung} = 0,240 > D_{tabel} = 0,084$ . Data dikatakan berdistribusi normal apabila nilai  $D_{hitung}$  lebih kecil dari nilai  $D_{tabel}$ . Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai  $D_{hitung}$  lebih besar dari nilai  $D_{tabel}$ , maka dapat disimpulkan bahwa data kandungan air dalam VCO tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, pada penelitian ini, akan digunakan peta kendali nonparametrik yaitu peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dan peta kendali EWMA *sign*.

### 3.5 Penerapan Peta Kendali Nonparametrik pada Data Virgin Coconut Oil

Sebelumnya telah dilakukan uji asumsi pada data dan diperoleh bahwa data yang digunakan memenuhi asumsi keacakan namun tidak memenuhi asumsi normalitas. Oleh karena itu, digunakan peta kendali nonparametrik karena peta kendali ini tidak memerlukan asumsi normalitas yang harus dipenuhi.

#### 3.5.1 Exponentially Weighted Moving Average Sign

Langkah awal dalam membuat peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average sign* adalah menghitung nilai  $M_i$  atau jumlah data  $X_{ij}$  yang memenuhi target menggunakan Persamaan (9). Target persentase kadar air dalam VCO yang digunakan oleh perusahaan adalah 0,20%. Perhitungan nilai  $M_i$  dapat dilihat pada Tabel 5. Kemudian menghitung nilai *mean* dan variansi  $M_i$  menggunakan Persamaan (12) dan Persamaan (13).

$$E(M_i) = np$$

$$= 10 \times 0,5$$

$$= 5$$

$$Var(M_i) = np(1 - p)$$

$$= 10 \times 0,5 \times (1 - 0,5)$$

$$= 2,5$$

**Tabel 5.** Tabel Nilai  $M_i$

$i$	$M_i$	$i$	$M_i$	$i$	$M_i$	$i$	$M_i$
1	7	14	7	27	6	40	8



$i$	$M_i$	$i$	$M_i$	$i$	$M_i$	$i$	$M_i$
2	8	15	5	28	7	41	7
3	9	16	6	29	9	42	8
4	10	17	5	30	9	43	9
5	9	18	7	31	9	44	8
6	7	19	6	32	8	45	10
7	4	20	5	33	9	46	8
8	6	21	6	34	9	47	10
9	5	22	4	35	9	48	8
10	3	23	6	36	8	49	9
11	5	24	5	37	8	50	9
12	4	25	4	38	9	51	8
13	6	26	4	39	9	52	8

Selanjutnya dihitung nilai statistik EWMA *sign* dengan nilai  $\lambda = 0,05, \lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,15$ . Pemilihan nilai  $\lambda$  ini berdasarkan rekomendasi (Kalgonda dan Koshti, 2013). Statistik EWMA *sign* dihitung menggunakan Persamaan (11) dengan nilai  $Y_{M_0}$  sama dengan *mean*  $M_i$  yaitu  $Y_{M_0} = E(M_i) = 5$ .

**a. Peta Kendali EWMA Sign untuk  $\lambda = 0,05$**

$$\begin{aligned}
 Y_{M_1} &= \lambda M_1 + (1 - \lambda)Y_{M_{1-1}} \\
 &= \lambda M_1 + (1 - \lambda)Y_{M_0} \\
 &= (0,05)(7) + (1 - 0,05)(5) \\
 &= 0,035 + 4,750 \\
 &= 5,100
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{M_2} &= \lambda M_2 + (1 - \lambda)Y_{M_{2-1}} \\
 &= \lambda M_2 + (1 - \lambda)Y_{M_1} \\
 &= (0,05)(8) + (1 - 0,05)(5,100) \\
 &= 0,400 + 4,845 \\
 &= 5,245
 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned}
 Y_{M_{52}} &= \lambda M_{52} + (1 - \lambda)Y_{M_{52-1}} \\
 &= \lambda M_{25} + (1 - \lambda)Y_{M_{51}} \\
 &= (0,05)(8) + (1 - 0,05)(7,665) \\
 &= 0,400 + 7,281 \\
 &= 7,681
 \end{aligned}$$

Nilai BKA, GT, dan BKB dapat dihitung menggunakan Persamaan (18), (19), dan (20) dengan  $E(M_i) = 5$ ,  $Var(M_i) = 2,5$ , dan nilai  $L = 3$ .

$$\begin{aligned} BKA(1) &= np + L \sqrt{Var(M_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2(1)}) \right)} \\ &= 5 + (3) \sqrt{2,5 \times \left( \frac{0,05}{2 - 0,05} (1 - (1 - 0,05)^{2(1)}) \right)} \\ &= 5,237 \end{aligned}$$

$$GT = 5$$

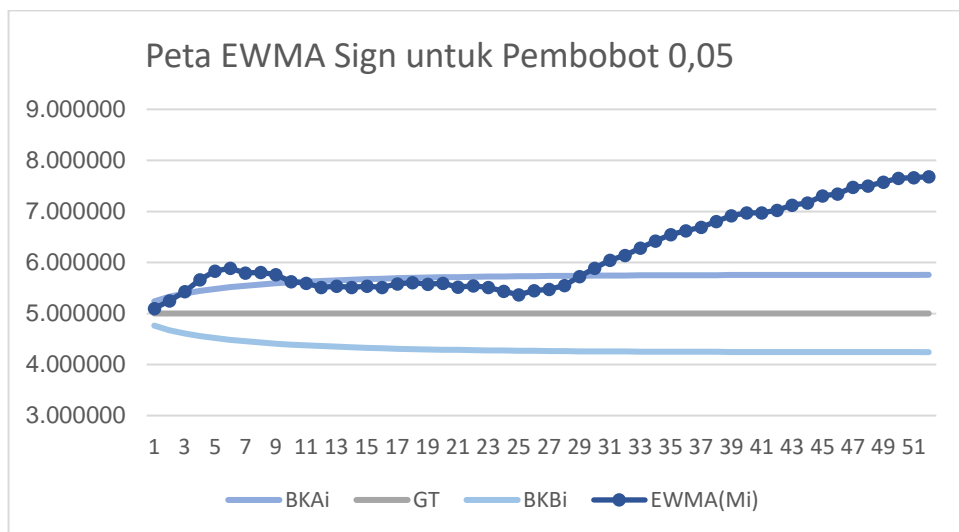
$$\begin{aligned} BKB(1) &= np - L \sqrt{Var(M_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2(1)}) \right)} \\ &= 5 - (3) \sqrt{2,5 \times \left( \frac{0,05}{2 - 0,05} (1 - (1 - 0,05)^{2(1)}) \right)} \\ &= 4,763 \end{aligned}$$

dengan cara yang sama, nilai  $Y_{M_i}$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk data ke  $i = 2, 3, \dots, 52$  dapat dilihat pada Tabel 6 atau secara lengkap pada Lampiran 4.

**Tabel 6.** Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,05$ 

$i$	$Y_{M_i}$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	5,100	5,237	5,000	4,763	Terkendali
2	5,245	5,327	5,000	4,673	Terkendali
3	5,433	5,391	5,000	4,609	Tidak Terkendali
4	5,661	5,441	5,000	4,559	Tidak Terkendali
5	5,828	5,481	5,000	4,519	Tidak Terkendali
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	7,501	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
49	7,576	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
50	7,647	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
51	7,665	5,758	5,000	4,242	Tidak Terkendali
52	7,681	5,758	5,000	4,242	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_{M_i}$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,05$  pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,05$ 

Peta kendali EWMA *sign* dengan  $\lambda = 0,05$  pada Gambar 3 menunjukkan bahwa batas kendali atas berkisar pada 5,237 hingga 5,758 dan batas kendali bawah berkisar pada 4,242 hingga 4,763 dengan batas tengah adalah 5,000. Pengendalian kualitas

persentase kandungan air dalam VCO menggunakan EWMA *sign* dengan  $\lambda = 0,05$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-3 hingga titik sampel ke-10 dan titik sampel ke-30 hingga titik sampel ke-52, sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

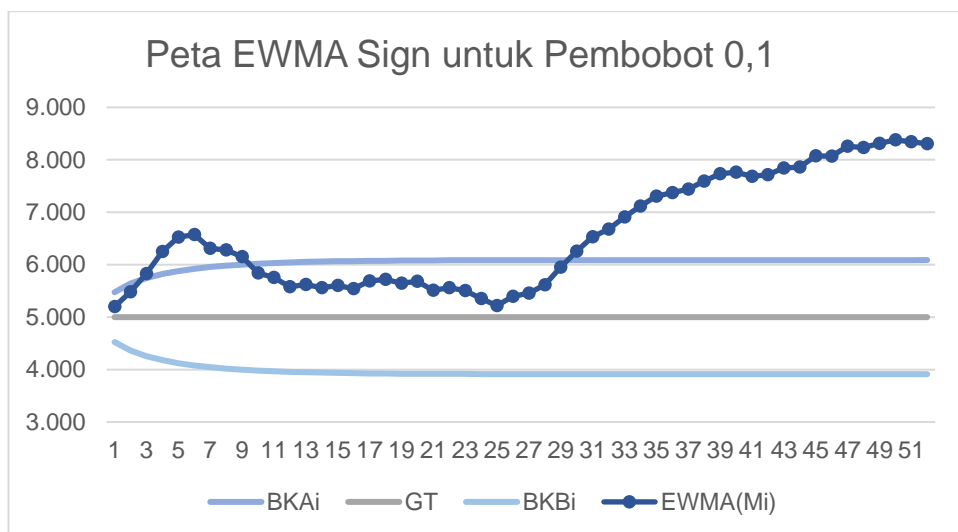
**b. Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,1$**

Nilai  $Y_{M_i}$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk peta kendali EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,1$  diperoleh menggunakan langkah yang sama seperti pada EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,05$  yang dapat dilihat pada Tabel 7 atau secara lengkap pada Lampiran 5.

**Tabel 7.** Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,1$

$i$	$Y_{M_i}$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	5,200	5,474	5,000	4,526	Terkendali
2	5,480	5,638	5,000	4,362	Terkendali
3	5,832	5,745	5,000	4,255	Tidak Terkendali
4	6,249	5,821	5,000	4,179	Tidak Terkendali
5	6,524	5,878	5,000	4,122	Tidak Terkendali
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	8,234	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
49	8,311	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
50	8,380	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
51	8,342	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
52	8,308	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_{M_i}$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,1$  pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Peta Kendali EWMA Sign untuk  $\lambda = 0,1$

Peta kendali EWMA sign dengan  $\lambda = 0,1$  pada Gambar 4 menunjukkan bahwa batas kendali atas berkisar pada 5,474 hingga 6,088 dan batas kendali bawah berkisar pada 3,912 hingga 4,526 dengan batas tengah adalah 5,000. Pengendalian kualitas persentase kandungan air dalam VCO menggunakan EWMA sign dengan  $\lambda = 0,1$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-3 hingga titik sampel ke-9 dan titik ke-30 hingga titik ke-52, sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

**c. Peta Kendali EWMA Sign untuk  $\lambda = 0,2$**

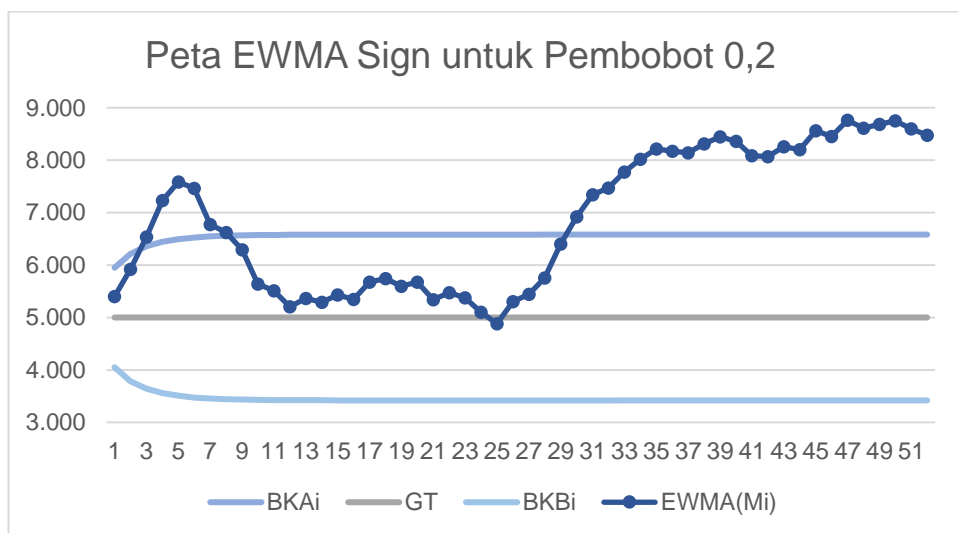
nilai  $Y_{M_i}$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk peta kendali EWMA sign untuk  $\lambda = 0,2$  juga diperoleh dengan menggunakan langkah yang sama seperti pada EWMA sign untuk  $\lambda = 0,05$  dan  $\lambda = 0,1$  yang dapat dilihat pada Tabel 8 atau secara lengkap pada Lampiran 6.

**Tabel 8.** Peta Kendali EWMA Sign untuk  $\lambda = 0,2$

$i$	$Y_{M_i}$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	5,400	5,949	5,000	4,051	Terkendali
2	5,920	6,215	5,000	3,785	Terkendali
3	6,536	6,358	5,000	3,642	Tidak Terkendali
4	7,229	6,442	5,000	3,558	Tidak Terkendali
5	7,583	6,494	5,000	3,506	Tidak Terkendali
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

$i$	$Y_{M_i}$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
48	8,609	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
49	8,687	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
50	8,750	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
51	8,600	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
52	8,480	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_{M_i}$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,2$  pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,2$

Peta kendali EWMA *sign* dengan  $\lambda = 0,2$  pada Gambar 5 menunjukkan bahwa batas kendali bervariasi dengan batas kendali atas berkisar pada 5,949 hingga 6,581 dan batas kendali bawah berkisar pada 3,419 hingga 4,051 dengan batas tengah adalah 0,000. Pengendalian kualitas persentase kandungan air dalam VCO menggunakan EWMA *sign* dengan  $\lambda = 0,2$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-3 hingga titik sampel ke-8 dan titik ke-30 hingga titik ke-52, sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

Berdasarkan hasil penerapan setiap parameter pembobot  $\lambda = 0,05, \lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,2$  pada peta kendali EWMA *sign*, ditemukan terdapat titik-titik sampel yang keluar batas kendali. Selain itu, dapat dilihat bahwa semakin besar nilai  $\lambda$  yang digunakan, semakin jauh juga batas-batas kendali, maka semakin jauh nilai statistik

EWMA  $sign Y_{M_i}$  dari batas kendali. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai parameter pembobot, maka semakin sensitif mendeteksi pergeseran proses.

### 3.5.2 Arcsin Exponentially Weighted Moving Average Nonparametrik

Langkah awal dalam membuat peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* nonparametrik adalah menghitung *mean* dan variansi  $Z_i$  menggunakan Persamaan (43) dan Persamaan (44).

$$\begin{aligned} E(Z_i) &= \arcsin(\sqrt{p}) \\ &= \arcsin(\sqrt{0,5}) \\ &= 0,785 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Var(Z_i) &= \frac{1}{4n} \\ &= \frac{1}{4 \times 10} \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

Nilai  $Z_i$  dihitung menggunakan Persamaan (42) dapat dilihat pada Tabel 9 atau secara lengkap pada Lampiran 7.

**Tabel 9.** Perhitungan Nilai  $Z_i$

$i$	$M_i$	$Z_i$
1	7	0,991
2	8	1,107
3	9	1,249
4	10	1,571
5	9	1,249
⋮	⋮	⋮
48	8	1,107
49	9	1,249
50	9	1,249
51	8	1,107
52	8	1,107

Selanjutnya dihitung nilai statistik arcsin EWMA nonparametrik dengan nilai  $\lambda = 0,05$ ,  $\lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,2$ . Pemilihan nilai  $\lambda$  ini berdasarkan rekomendasi (Kalgonda dan Koshti, 2013)  $\leq 1$ . Statistik arcsin EWMA nonparametrik dihitung menggunakan

Persamaan (45) dengan nilai  $Y_0$  sama dengan *mean*  $Z_i$  yaitu  $Y_0 = E(Z_i) = \arcsin(\sqrt{p}) = 0,785$ .

**a. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$**

$$\begin{aligned} Y_1 &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_{1-1} \\ &= \lambda Z_1 + (1 - \lambda)Y_0 \\ &= (0,05)(0,991) + (0,95)(0,785) \\ &= 0,050 + 0,746 \\ &= 0,796 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_{2-1} \\ &= \lambda Z_2 + (1 - \lambda)Y_1 \\ &= (0,05)(1,107) + (0,95)(0,796) \\ &= 0,055 + 0,756 \\ &= 0,811 \end{aligned}$$

⋮

$$\begin{aligned} Y_{52} &= \lambda Z_{52} + (1 - \lambda)Y_{52-1} \\ &= \lambda Z_{52} + (1 - \lambda)Y_{51} \\ &= (0,05)(1,107) + (0,95)(1,101) \\ &= 0,055 + 1,047 \\ &= 1,102 \end{aligned}$$

Nilai BKA, GT, dan BKB dapat dihitung menggunakan Persamaan (46), (47), dan (48) dengan  $E(Z_i) = 0,785$ ,  $Var(Z_i) = 0,025$ , dan nilai  $L = 3$ .

$$\begin{aligned} BKA(1) &= \arcsin(\sqrt{p}) + L \sqrt{Var(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2(1)}) \right)} \\ &= 0,785 + (3) \sqrt{0,025 \times \left( \frac{0,05}{2 - 0,05} (1 - (1 - 0,05)^{2(1)}) \right)} \\ &= 0,809 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GT &= \arcsin(\sqrt{p}) \\ &= \arcsin(\sqrt{0,5}) \\ &= 0,785 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BKB(1) &= \arcsin(\sqrt{p}) - L \sqrt{Var(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2(1)}) \right)} \\ &= 0,785 - (3) \sqrt{0,025 \times \left( \frac{0,05}{2 - 0,05} (1 - (1 - 0,05)^{2(1)}) \right)} \\ &= 0,762 \end{aligned}$$

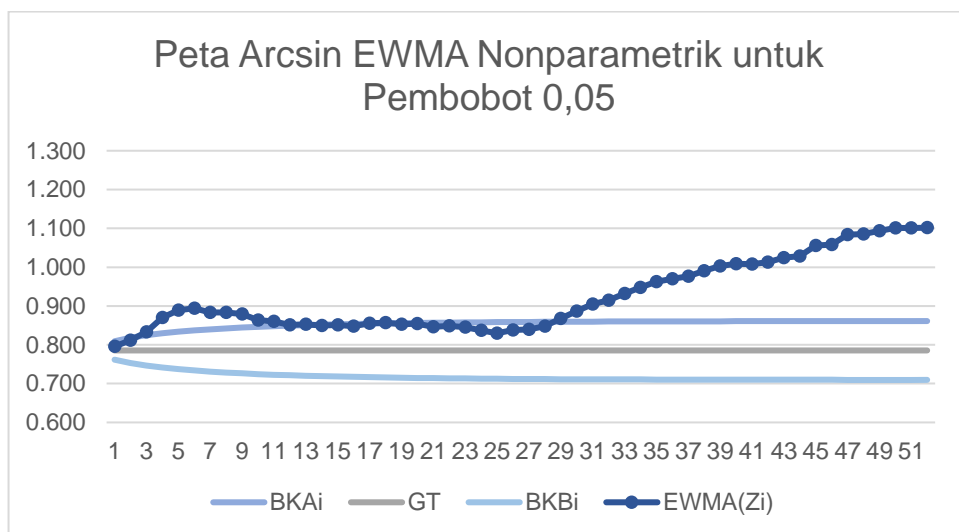
dengan cara yang sama, nilai  $Y_i$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk data ke  $i = 2, 3, \dots, 52$  dapat dilihat pada Tabel 10 atau secara lengkap pada Lampiran 8.



**Tabel 10.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$ 

$i$	$Y_i$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	0,796	0,809	0,785	0,762	Terkendali
2	0,811	0,818	0,785	0,753	Terkendali
3	0,833	0,824	0,785	0,746	Tidak Terkendali
4	0,870	0,829	0,785	0,741	Tidak Terkendali
5	0,889	0,834	0,785	0,737	Tidak Terkendali
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	1,085	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
49	1,093	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
50	1,101	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
51	1,101	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
52	1,102	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_i$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$  pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$ 

Peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,05$  pada Gambar 6. menunjukkan bahwa batas kendali atas berkisar pada 0,809 hingga 0,861 dan batas

kendali bawah berkisar pada 0,710 hingga 0,762 dengan batas tengah adalah 0,785. Pengendalian kualitas persentase kandungan air dalam VCO menggunakan arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,05$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-2 hingga titik sampel ke-13, titik sampel ke-17, ke-18, dan titik ke-29 hingga titik ke-52 sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

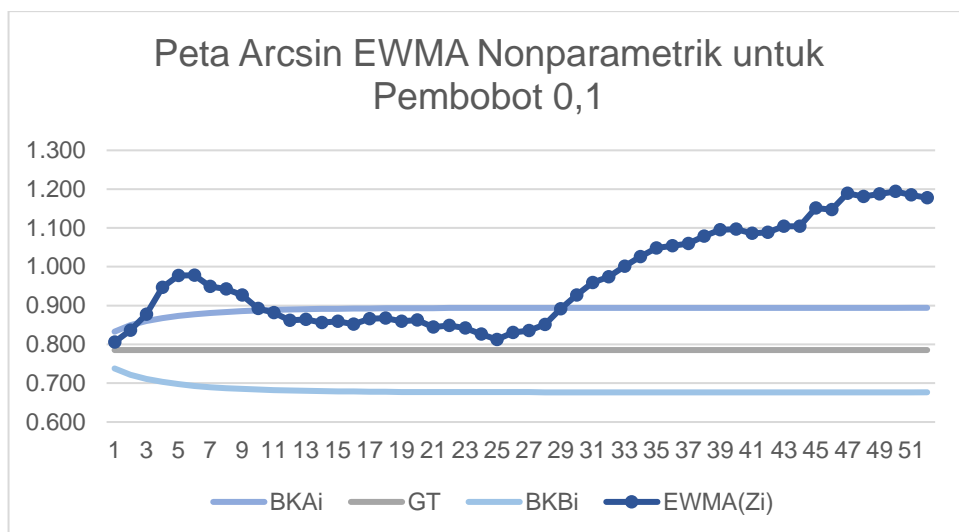
**b. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$**

Nilai  $Y_i$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$  diperoleh menggunakan langkah yang sama seperti pada arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$  yang dapat dilihat pada Tabel 11 atau secara lengkap pada Lampiran 9.

**Tabel 11.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$

$i$	$Y_i$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	0,806	0,833	0,785	0,738	Terkendali
2	0,836	0,849	0,785	0,722	Terkendali
3	0,877	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
4	0,947	0,868	0,785	0,703	Tidak Terkendali
5	0,977	0,873	0,785	0,698	Tidak Terkendali
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	1,181	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
49	1,188	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
50	1,194	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
51	1,185	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
52	1,177	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_i$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$  pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$

Peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,1$  pada Gambar 7 menunjukkan bahwa batas kendali atas berkisar pada 0,833 hingga 0,894 dan batas kendali bawah berkisar pada 0,677 hingga 0,738 dengan batas tengah adalah 0,785. Pengendalian kualitas persentase kandungan air dalam VCO menggunakan arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,1$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-3 hingga titik sampel ke-10 dan titik ke-30 hingga titik ke-52, sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

**c. Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$**

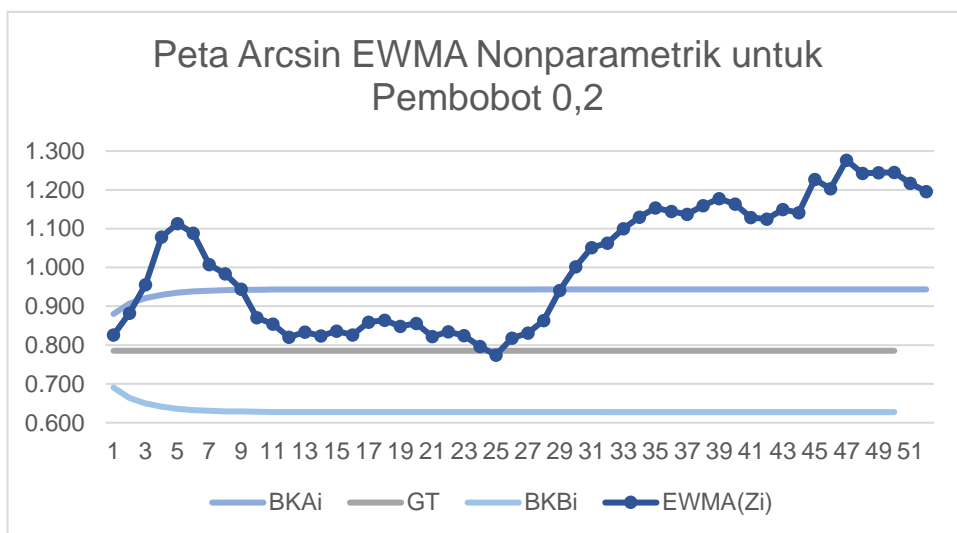
Nilai  $Y_i$  serta nilai BKA, GT, dan BKB untuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$  dapat diperoleh dengan menggunakan langkah yang sama seperti pada arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$  dan  $\lambda = 0,1$  yang dapat dilihat pada Tabel 12 atau secara lengkap pada Lampiran 10.

**Tabel 12.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$

$i$	$Y_i$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
1	0,827	0,880	0,785	0,691	Terkendali
2	0,883	0,907	0,785	0,664	Terkendali
3	0,956	0,921	0,785	0,650	Tidak Terkendali
4	1,079	0,930	0,785	0,641	Tidak Terkendali
5	1,113	0,935	0,785	0,636	Tidak Terkendali

$i$	$Y_i$	$BKA_i$	$GT$	$BKB_i$	Keterangan
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
48	1,243	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
49	1,244	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
50	1,245	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
51	1,217	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
52	1,195	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali

Berdasarkan nilai statistik  $Y_i$  dengan menggunakan nilai-nilai BKA, GT, dan BKB, maka dapat dibentuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$  pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$

Peta kendali arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,2$  pada Gambar 8 menunjukkan bahwa batas kendali atas berkisar pada 0,880 hingga 0,944 dan batas kendali bawah berkisar pada 0,627 hingga 0,691 dengan batas tengah adalah 0,785. Pengendalian kualitas persentase kandungan air dalam VCO menggunakan arcsin EWMA nonparametrik dengan  $\lambda = 0,2$  menunjukkan bahwa terdapat data yang keluar dari batas kendali atau terdapat data *out of control* pada titik ke-3 hingga titik sampel ke-9 dan titik ke-30 hingga titik ke-52, sehingga dapat dikatakan bahwa proses produksi tidak terkendali secara statistik.

Berdasarkan hasil penerapan setiap parameter pembobot  $\lambda = 0,05, \lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,2$  pada peta kendali arcsin EWMA nonparametrik, ditemukan bahwa terdapat titik-titik sampel yang keluar batas kendali. Selain itu, dapat dilihat bahwa

semakin besar nilai  $\lambda$  yang digunakan, semakin jauh juga batas kendali atas dan batas kendali bawah, maka semakin jauh nilai statistik arcsin EWMA nonparametrik  $Y_i$  dari batas kendali. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai parameter pembobot, maka semakin sensitif mendeteksi pergeseran proses.

### 3.6 Perbandingan Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average Nonparametrik* dengan Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign*

Peta kendali umumnya dievaluasi menggunakan nilai *Average Run Length* (ARL) untuk mengukur kesensitifitasnya. Nilai ARL dapat ditentukan dengan menggunakan metode pendekatan Rantai Markov. Nilai ARL dengan pendekatan Rantai Markov diperoleh menggunakan matriks peluang transisi dengan menentukan nilai matriks  $Q$  yang berisi elemen-elemen seperti dibawah ini (Graham dkk., 2011)

$$Q_{N \times N} = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots & p_{2N} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & \dots & p_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{N1} & p_{N2} & p_{N3} & \dots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

#### 3.6.1 Menghitung Nilai *Average Run Length* Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign*

Perhitungan matriks peluang  $Q$  dilakukan dengan memilih jumlah interval  $N = 5$ , maka matriks  $Q$  memuat elemen  $p_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots, 5$ ).

$$Q_{5 \times 5} = [p_{ij}] = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} & p_{15} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} & p_{25} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} & p_{35} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} & p_{45} \\ p_{51} & p_{52} & p_{53} & p_{54} & p_{55} \end{bmatrix}$$

Berdasarkan Persamaan (48), (49), dan (50), diperoleh Persamaan (52) untuk menghitung elemen dalam matriks  $Q$ . Elemen pertama yang akan dihitung adalah  $p_{11}$  dengan menggunakan parameter  $\lambda = 0,05$ , nilai batas kendali  $BKA = 5,237$  dan  $BKB = 4,763$ . Berdasarkan Persamaan (52) dengan  $N = 5$ , maka nilai elemen  $p_{11}$  untuk peta kendali EWMA *sign* adalah

$$\begin{aligned} p_{11} &= Z < (4,763 + \frac{5,237 - (4,763)}{2(0,05)(5)} (2(1) - (1 - 0,05)(2(1) - 1))) \\ &\quad - Z < (4,763 + \frac{5,237 - (4,763)}{2(0,05)(5)} (2(1 - 1) - (1 - 0,05)(2(1) - 1))) \\ &= \phi(5,759) - \phi(3,862) \\ &= 0,189 - 0,040 \\ &= 0,189 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *software* R yang terlampir pada Lampiran 11, maka dapat diperoleh nilai elemen matriks  $p_{ij}$  yang lainnya sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 0,189 & 0,376 & 0,294 & 0,090 & 0,011 \\ 0,041 & 0,200 & 0,380 & 0,283 & 0,083 \\ 0,004 & 0,046 & 0,211 & 0,382 & 0,272 \\ 0,000 & 0,004 & 0,050 & 0,223 & 0,384 \\ 0,000 & 0,002 & 0,005 & 0,056 & 0,234 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks  $Q$  diatas, dapat diperoleh ARL untuk peta kendali EWMA *sign* menggunakan Persamaan (53).

$$\begin{aligned} ARL &= R^T(I - Q)^{-1}\mathbf{1} \\ &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,189 & 0,376 & 0,294 & 0,090 & 0,011 \\ 0,041 & 0,200 & 0,380 & 0,283 & 0,083 \\ 0,004 & 0,046 & 0,211 & 0,382 & 0,272 \\ 0,000 & 0,004 & 0,050 & 0,223 & 0,384 \\ 0,000 & 0,002 & 0,005 & 0,056 & 0,234 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= 4,445 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai ARL EWMA *sign* untuk  $\lambda = 0,05$  yaitu 4,445. Selanjutnya menggunakan cara yang sama dengan bantuan *software* R, didapatkan nilai ARL untuk pembobot  $\lambda = 0,1$  dan  $\lambda = 0,2$  yang disajikan pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Nilai ARL Peta Kendali EWMA *Sign*

$\lambda$	ARL Arcsin EWMA <i>Sign</i>
0,05	4,445
0,1	4,483
0,2	4,600

### 3.6.2 Menghitung Nilai *Average Run Length* Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average Nonparametrik*

Sama seperti pada peta kendali EWMA nonparametrik, matriks  $Q$  yang diperoleh menggunakan Persamaan (52). Elemen pertama yang akan dihitung adalah  $p_{11}$  dengan menggunakan parameter  $\lambda = 0,05$ , nilai batas kendali  $BKA = 0,809$  dan  $BKB = 0,762$ . Berdasarkan Persamaan (52) dengan  $N = 5$ , maka nilai elemen  $p_{11}$  untuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik adalah

$$p_{11} = Z < \left( 0,762 + \frac{0,809 - 0,762}{2(0,05)(5)} (2(1) - (1 - 0,05)(2(1) - 1)) \right)$$

$$\begin{aligned}
-Z &< (0,762 + \frac{0,809-0,762}{2(0,05)(5)})(2(1-1) - (1-0,05)(2(1)-1)) \\
&= \phi(0,672) - \phi(0,861) \\
&= 0,228 - 0,061 \\
&= 0,167
\end{aligned}$$

Menggunakan bantuan *software* R yang terlampir pada Lampiran 12, maka dapat diperoleh nilai elemen matriks  $p_{ij}$  yang lainnya sehingga dapat dituliskan sebagai

$$\mathbf{Q}_{5 \times 5} = \begin{bmatrix} 0,167 & 0,294 & 0,282 & 0,147 & 0,042 \\ 0,056 & 0,174 & 0,297 & 0,277 & 0,140 \\ 0,011 & 0,060 & 0,182 & 0,300 & 0,271 \\ 0,001 & 0,119 & 0,064 & 0,189 & 0,303 \\ 0,000 & 0,001 & 0,013 & 0,069 & 0,196 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks  $\mathbf{Q}$  diatas, dapat diperoleh ARL untuk peta kendali EWMA nonparametrik menggunakan Persamaan (53).

$$\begin{aligned}
ARL &= \mathbf{R}^T(\mathbf{I} - \mathbf{Q})^{-1}\mathbf{1} \\
&= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0,167 & 0,294 & 0,282 & 0,147 & 0,042 \\ 0,056 & 0,174 & 0,297 & 0,277 & 0,140 \\ 0,011 & 0,060 & 0,182 & 0,300 & 0,271 \\ 0,001 & 0,119 & 0,064 & 0,189 & 0,303 \\ 0,000 & 0,001 & 0,013 & 0,069 & 0,196 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \\
&= 3,770
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh nilai ARL peta kendali arcsin EWMA nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$  yaitu 3,770. Selanjutnya menggunakan cara yang sama dengan bantuan *software* R, didapatkan nilai ARL untuk pembobot  $\lambda = 0,1$  dan  $\lambda = 0,2$  yang disajikan pada Tabel 14.

**Tabel 14.** Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik

$\lambda$	ARL Arcsin EWMA Nonparametrik
0,05	3,770
0,1	3,794
0,2	3,855

### 3.6.3 Perbandingan Nilai Average Run Length

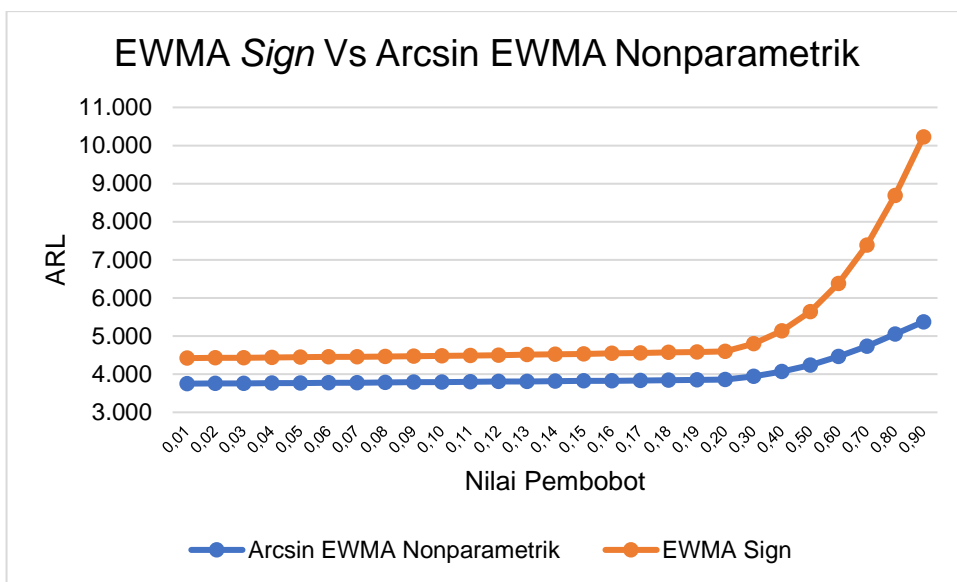
Menggunakan bantuan *software* R yang terlampir pada Lampiran 13 dan Lampiran 14, maka perbandingan nilai ARL peta kendali EWMA *sign* dan arcsin EWMA nonparametrik untuk beberapa nilai pembobot ( $\lambda$ ) dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15.** Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali EWMA *Sign* dan Arcsin EWMA Nonparametrik

$\lambda$	Arcsin EWMA Nonparametrik	EWMA <i>Sign</i>
0,01	3,753	4,422
0,02	3,755	4,428
0,03	3,760	4,433
0,04	3,765	4,439
0,05	3,770	4,445
0,06	3,774	4,452
0,07	3,779	4,459
0,08	3,784	4,467
0,09	3,789	4,475
0,10	3,794	4,483
0,11	3,800	4,492
0,12	3,805	4,501
0,13	3,810	4,511
0,14	3,816	4,522
0,15	3,822	4,533
0,16	3,828	4,545
0,17	3,835	4,558
0,18	3,841	4,571
0,19	3,848	4,585
0,20	3,855	4,600
0,30	3,943	4,804
0,40	4,067	5,134
0,50	4,238	5,641
0,60	4,461	6,376
0,70	4,735	7,388
0,80	5,047	8,690
0,90	5,374	10,225

Nilai ARL di atas dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 9.





**Gambar 9.** Perbandingan Nilai ARL Peta Kendali EWMA *Sign* dan Arcsin EWMA Nonparametrik

Tabel 15 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa nilai ARL yang diperoleh untuk peta kendali arcsin EWMA nonparametrik lebih kecil dibandingkan nilai ARL peta kendali EWMA *sign* pada pada setiap nilai parameter pembobot  $\lambda$ . Semakin kecil nilai ARL, maka semakin kecil pula jumlah sampel yang diperlukan sampai sinyal *out of control* terdeteksi. Hal ini berarti semakin kecil nilai ARL, maka semakin cepat peta kendali mendeteksi adanya pergeseran pada proses produksi. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa berdasarkan nilai ARL yang diperoleh, peta kendali arcsin EWMA nonparametrik lebih sensitif dalam mendeteksi adanya pergeseran dalam proses produksi dibandingkan peta kendali EWMA *sign*.

## BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Peta kendali arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA) nonparametrik pada data VCO CV LapaKlapa dibentuk berdasarkan nilai  $p = 0,5$ ,  $E(Z_i) = 0,785$ , dan  $Var(Z_i) = 0,025$  masing-masing untuk  $\lambda = 0,05$ ,  $\lambda = 0,1$ , dan  $\lambda = 0,2$ . Maka diperoleh batas-batas peta kendali arcsin EWMA nonparametrik sebagai berikut:

Batas Kendali Atas (BKA):

$$BKA = \arcsin(\sqrt{p}) + L \sqrt{Var(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right)}$$

Garis Tengah (GT):

$$GT = \arcsin(\sqrt{p})$$

Batas Kendali Bawah (BKB):

$$BKB = \arcsin(\sqrt{p}) - L \sqrt{Var(Z_i) \times \left( \frac{\lambda}{2-\lambda} (1 - (1-\lambda)^{2i}) \right)}$$

2. Kinerja peta kendali arcsin EWMA nonparametrik pada data produksi VCO CV LapaKlapa lebih baik dalam mendeteksi pergeseran proses dibandingkan peta kendali EWMA *sign* karena dapat mendeteksi lebih banyak titik sampel *out of control* dan memiliki nilai ARL yang lebih kecil pada setiap parameter pembobot.

### 4.2 Saran

Penelitian ini menerapkan peta kendali arcsin EWMA nonparametrik pada data VCO yang tidak berdistribusi normal. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan peta kendali versi nonparametrik dari *Double Exponentially Weighted Moving Average* (DEWMA) dengan menggunakan transformasi arcsin, peta kendali *Composite Exponentially Weighted Moving Average* (CEWMA) nonparametrik, dan peta kendali nonparametrik lain yang dapat digunakan untuk data tidak berdistribusi normal.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abbasi, S. A., Yeganeh, A., dan Shongwe, S. C. (2022). Monitoring non-parametric profiles using adaptive EWMA control chart. *Scientific reports*, 12(1), 14336.
- Ajadi, N. A., Damisa, S. A., Asiribo, O. E., dan Dawodu, G. A. (2017). On Efficient Memory-Type Control Charts for Monitoring out of Control Signals in a Process Using Diabetic Data. *Biomedical Statistics and Informatics*, 2(5), 138–144.
- Amin, R. W., dan Searcy, A. J. (1991). A nonparametric exponentially weighted moving average control scheme. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 20(4), 1049–1072.
- Andini, E., Sudarno, S., dan Rahmawati, R. (2021). Penerapan Metode Pengendalian Kualitas Mewma Berdasarkan ARL dengan Pendekatan Rantai Markov (Studi Kasus: Batik Semarang 16, Meteseh). *Jurnal Gaussian*, 10(1), 125–135.
- Božek, P., Nikitin, Y., Krenický, T., Božek, P., Nikitin, Y., dan Krenický, T. (2021). The Basics Characteristics of Elements Reliability. *Diagnostics of Mechatronic Systems*, 1–15.
- Bradley, J. V. (1960). *Distribution-free statistical tests* (Vol. 60, Nomor 661). United States Air Force.
- Brook, D., dan Evans, D. (1972). An Approach to the Probability Distribution of CUSUM Run Length. *Biometrika*, 59(3), 539–549.
- Conover, W. J. (1999). *Practical Nonparametric Statistics* (Vol. 350). John Wiley Dan Sons.
- Corder, G. W., dan Foreman, D. I. (2014). *Nonparametric Statistics: A Step-By-Step Approach*. John Wiley dan Sons.
- Graham, M. A., Chakraborti, S., dan Human, S. W. (2011). A Nonparametric Exponentially Weighted Moving Average Signed-Rank Chart for Monitoring Location. *Computational Statistics dan Data Analysis*, 55(8), 2490–2503.
- Huang, X., Xu, N., dan Bisgaard, S. (2013). A Class of Markov Chain Models For Average Run Length Computations for Autocorrelated Processes. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 42(7), 1495–1513.

- Kalgonda, A. A., dan Koshti, V. V. (2013). *Exponentially Weighted Moving Average Control Chart: A Simulation Approach to Combined Schemes with Joint Monitoring*. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Li, S.-Y., Tang, L.-C., dan Ng, S.-H. (2010). Nonparametric CUSUM and EWMA control charts for detecting mean shifts. *Journal of Quality Technology*, 42(2), 209–226.
- Lin, L., dan Xu, C. (2020). Arcsine-Based Transformations for Meta-Analysis of Proportions: Pros, Cons, and Alternatives. *Health Science Reports*, 3(3), e178.
- Lu, C.-W., dan Reynolds Jr, M. R. (2001). CUSUM Charts for Monitoring an Autocorrelated Process. *Journal of Quality Technology*, 33(3), 316–334.
- Lukman, R., Mustafid, M., dan Sugito, S. (2023). Penerapan Diagram Pengendali Nonparametrik Exponentially Weighted Moving Average Sign untuk Analisis Pergerakan Harga Saham Sektor Properti. *Jurnal Gaussian*, 12(1), 1–9.
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control* (6 ed.). John Wiley dan Sons.
- Mosteller, F., dan Youtz, C. (2006). Tables of the Freeman-Tukey Transformations for the Binomial and Poisson Distributions. Dalam *Selected Papers of Frederick Mosteller* (hlm. 337–347). Springer.
- Page, E. S. (1954). Continuous Inspection Schemes. *Biometrika*, 41(1/2), 100–115.
- Perdikis, T., Psarakis, S., Castagliola, P., dan Maravelakis, P. E. (2021). An EWMA Signed Ranks Control Chart with Reliable Run Length Performances. *Quality and Reliability Engineering International*, 37(3), 1266–1284.
- Pine, A. T. D., dan Khatimah, K. (2024). Uji Mutu Virgin Coconut Oil (VCO) dengan Metode Fermentasi dan Pemancingan. *Jurnal Kesehatan Yamasi Makassar*, 8(1), 8–15.
- Raza, M. A., Aslam, M., Farooq, M., Sherwani, R. A. K., Bhatti, S. H., dan Ahmad, T. (2022). A New Nonparametric Composite Exponentially Weighted Moving Average Sign Control Chart. *Scientia Iranica*, 29(1), 290–302.

- Rethinam, P. (2019). International Scenario of Coconut Sector. Dalam *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.)-Research and Development Perspectives* (hlm. 21–56). Springer.
- Roberts, S. W. (2000). Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. *Technometrics*, 42(1), 97–101.
- Santosa, H., Yuliati, dan Mulyana, Ig. J. (2020). *Rancang Bangun Alat Sentrifugal Pencuci Daging Buah Kelapa Menggunakan Cairan Air Kelapa (Pre-Processing Metode Sentrifugasi)*. <http://ojs.atmajaya.ac.id/index.php/metris>
- Setyorini, E. Y., dan Surjanto, S. D. (2023). Perbandingan Kinerja Peta Kendali CUSUM dan EWMA dalam Pengendalian Kualitas FJLB di PT Serbaguna Prima. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 12(1), A1–A6.
- Shewhart, W. A. (1931). Applications of Statistical Method in Engineering. *Journal of the American Statistical Association*, 26(173A), 214–221.
- Sungkono, J., dan Wulandari, A. A. (2022). Pembelajaran Teorema Limit Pusat Melalui Simulasi. *Absis: Mathematics Education Journal*, 4(2), 69.
- Tang, A., Sun, J., Hu, X., dan Castagliola, P. (2019). A new nonparametric adaptive EWMA control chart with exact run length properties. *Computers dan Industrial Engineering*, 130, 404–419.
- Tran, P. H., Tran, K. P., Huong, T. T., Heuchenne, C., Nguyen, T. A. D., dan Do, C. N. (2018). A Variable Sampling Interval EWMA Distribution-Free Control Chart for Monitoring Services Quality. *Proceedings of the 2018 International Conference on E-Business and applications*, 1–5.
- Triantafyllou, I. S., dan Ram, M. (2021). Nonparametric EWMA-Type Control Charts for Monitoring Industrial Processes: An Overview. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 6(3), 708.
- Trimardiani, Y., Akbar, M. S., dan Wibawati, W. (2021). Penerapan Diagram Kendali Multivariate Exponentially Weighted Moving Covariance Matrix (MEWMC) pada Pengendalian Kualitas Proses Produksi Air di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 9(2), D186–D192.
- Wijayanti, D. T., Helmi, dan Imro'ah, N. (2020). Perbandingan Kinerja Peta Kendali Cumulative Sum dan Peta Kendali Exponentially Weighted Moving Average. *Buletin Ilmiah Mat. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 09(4), 549–558.

- Yang, S. F., dan Cheng, S. W. (2010). A New Non-parametric CUSUM Mean Chart. *Quality and Reliability Engineering International*, 27(7), 867–875. <https://doi.org/10.1002/qre.1171>
- Yang, S.-F., Lin, J.-S., dan Cheng, S. W. (2011). A New Nonparametric EWMA Sign Control Chart. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 6239–6243.
- Yanuar, F., Nabilla, M. F., dan Rahmi, I. (2021). Penerapan Peta Kendali Atribut Klasik Dan Peta Kendali Np Bayes Pada Produk Cacat Air Minum Asri Di Cv. Multi Rejeki Selaras Payakumbuh. *Jurnal Aplikasi Statistika dan Komputasi Statistik*, 13(1), 17–24.
- Zhou, C., Zou, C., Zhang, Y., dan Wang, Z. (2009). Nonparametric Control Chart Based on Change-Point Model. *Statistical Papers*, 50, 13–28.
- Zou, C., dan Tsung, F. (2010). Likelihood Ratio-Based Distribution-Free EWMA Control Charts. *Journal of Quality Technology*, 42(2), 174–196.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Data Kandungan Air (%) pada Produksi *Virgin Oil Coconut* CV LapaKlapa  
Tanggal 3 Juli Hingga 30 Oktober 2023.

Tanggal	Ukuran Sampel									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3/7/2023	0,18	0,18	0,17	0,19	0,21	0,19	0,21	0,21	0,20	0,19
5/7/2023	0,19	0,19	0,17	0,18	0,21	0,16	0,16	0,19	0,21	0,16
7/7/2023	0,19	0,20	0,20	0,15	0,16	0,20	0,19	0,18	0,21	0,15
10/7/2023	0,17	0,20	0,19	0,15	0,17	0,19	0,16	0,20	0,17	0,16
12/7/2023	0,16	0,17	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,21	0,16	0,17
14/07/2023	0,20	0,18	0,19	0,22	0,18	0,18	0,20	0,21	0,21	0,19
17/07/2023	0,23	0,20	0,18	0,21	0,22	0,18	0,21	0,22	0,22	0,17
19/07/2023	0,22	0,21	0,18	0,20	0,19	0,22	0,18	0,17	0,21	0,18
21/07/2023	0,19	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21	0,18	0,20	0,22	0,19
24/07/2023	0,22	0,21	0,22	0,20	0,21	0,19	0,21	0,22	0,23	0,20
26/07/2023	0,23	0,18	0,19	0,22	0,18	0,22	0,18	0,21	0,23	0,18
28/07/2023	0,17	0,20	0,23	0,23	0,22	0,19	0,23	0,22	0,20	0,22
31/07/2023	0,21	0,21	0,20	0,22	0,17	0,22	0,18	0,19	0,20	0,19
2/8/2023	0,21	0,22	0,20	0,20	0,18	0,23	0,18	0,19	0,21	0,23
4/8/2023	0,18	0,21	0,18	0,22	0,20	0,22	0,20	0,18	0,21	0,19
7/8/2023	0,20	0,21	0,18	0,20	0,19	0,22	0,21	0,19	0,21	0,21
9/8/2023	0,22	0,19	0,19	0,18	0,20	0,17	0,22	0,23	0,20	0,19
11/8/2023	0,19	0,19	0,22	0,23	0,18	0,20	0,21	0,19	0,18	0,23
14/08/2023	0,17	0,21	0,18	0,22	0,22	0,18	0,19	0,21	0,19	0,22
16/08/2023	0,18	0,21	0,22	0,19	0,22	0,19	0,21	0,20	0,19	0,17
18/08/2023	0,23	0,21	0,19	0,21	0,17	0,21	0,19	0,20	0,22	0,23
21/08/2023	0,20	0,19	0,21	0,21	0,20	0,20	0,17	0,23	0,18	0,23
23/08/2023	0,22	0,23	0,22	0,20	0,21	0,18	0,18	0,21	0,18	0,17
25/08/2023	0,23	0,21	0,18	0,18	0,22	0,19	0,20	0,21	0,23	0,21
28/08/2023	0,17	0,22	0,22	0,19	0,18	0,21	0,23	0,20	0,22	0,23
30/08/2023	0,20	0,19	0,20	0,23	0,20	0,21	0,22	0,18	0,18	0,19



**Lampiran 1. Data Kandungan Air (%) pada Produksi *Virgin Oil Coconut* CV LapaKlapa  
Tanggal 3 Juli Hingga 30 Oktober 2023 (Lanjutan).**

Tanggal	Ukuran Sampel									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/9/2023	0,21	0,18	0,19	0,22	0,20	0,19	0,19	0,17	0,22	0,23
4/9/2023	0,17	0,18	0,19	0,18	0,19	0,22	0,18	0,22	0,19	0,21
6/9/2023	0,20	0,16	0,17	0,22	0,19	0,16	0,20	0,18	0,19	0,18
8/9/2023	0,18	0,19	0,17	0,16	0,17	0,17	0,20	0,18	0,19	0,21
11/9/2023	0,18	0,18	0,18	0,21	0,19	0,20	0,17	0,19	0,19	0,18
13/9/2023	0,21	0,20	0,19	0,24	0,20	0,19	0,18	0,20	0,18	0,19
15/9/2023	0,17	0,21	0,19	0,19	0,17	0,16	0,20	0,19	0,17	0,18
18/9/2023	0,21	0,19	0,17	0,16	0,18	0,18	0,17	0,19	0,18	0,18
20/9/2023	0,19	0,17	0,19	0,19	0,18	0,21	0,18	0,17	0,16	0,19
22/9/2023	0,18	0,19	0,18	0,21	0,19	0,18	0,22	0,19	0,17	0,17
25/9/2023	0,20	0,20	0,19	0,19	0,24	0,18	0,19	0,22	0,19	0,18
27/9/2023	0,18	0,19	0,19	0,21	0,18	0,18	0,19	0,20	0,18	0,18
29/9/2023	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	0,21	0,17	0,17	0,16	0,18
2/10/2023	0,17	0,22	0,18	0,18	0,19	0,19	0,21	0,18	0,18	0,17
4/10/2023	0,16	0,17	0,21	0,17	0,19	0,19	0,18	0,20	0,21	0,23
6/10/2023	0,18	0,23	0,20	0,18	0,19	0,22	0,20	0,19	0,17	0,19
9/10/2023	0,19	0,19	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,22	0,17	0,20
11/10/2023	0,18	0,19	0,19	0,21	0,23	0,18	0,20	0,15	0,17	0,20
13/10/2023	0,16	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,19	0,18	0,16	0,18
16/10/2023	0,17	0,18	0,17	0,21	0,21	0,17	0,19	0,20	0,18	0,18
18/10/2023	0,19	0,19	0,17	0,17	0,16	0,19	0,16	0,19	0,20	0,18
20/10/2023	0,18	0,21	0,17	0,17	0,20	0,19	0,18	0,20	0,22	0,17
23/10/2023	0,19	0,19	0,20	0,18	0,18	0,21	0,16	0,18	0,19	0,16
25/10/2023	0,16	0,19	0,17	0,17	0,18	0,16	0,18	0,20	0,20	0,22
27/10/2023	0,17	0,19	0,18	0,18	0,16	0,18	0,18	0,21	0,22	0,19
30/10/2023	0,16	0,21	0,18	0,19	0,19	0,20	0,17	0,17	0,18	0,22

Sumber: CV LapaKlapa

## Lampiran 2. Uji Keacakan Data

Sampel	$r$	$n_1$	$n_2$	$\mu_i$	$\sigma_i$	$Z_{hitung}$	Keterangan
1	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
2	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
3	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
4	7	4	6	5,800	1,424	0,843	Data Acak
5	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
6	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
7	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
8	8	5	5	6,000	1,491	1,342	Data Acak
9	7	5	5	6,000	1,491	0,671	Data Acak
10	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
11	8	5	5	6,000	1,491	1,342	Data Acak
12	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
13	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
14	5	5	5	6,000	1,491	-0,671	Data Acak
15	7	6	4	5,800	1,424	0,843	Data Acak
16	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
17	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
18	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
19	8	5	5	6,000	1,491	1,342	Data Acak
20	7	5	5	6,000	1,491	0,671	Data Acak
21	7	6	4	5,800	1,424	0,843	Data Acak
22	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
23	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
24	5	6	4	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
25	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
26	5	3	7	5,200	1,222	-0,164	Data Acak

$$Z_{tabel} = 1,96$$

## Lampiran 2. Uji Keacakan Data (Lanjutan).

Sampel	$r$	$n_1$	$n_2$	$\mu_i$	$\sigma_i$	$Z_{hitung}$	Keterangan
27	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
28	6	3	7	5,200	1,222	0,655	Data Acak
29	8	5	5	6,000	1,491	1,342	Data Acak
30	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
31	5	5	5	6,000	1,491	-0,671	Data Acak
32	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
33	5	5	5	6,000	1,491	-0,671	Data Acak
34	4	3	7	5,200	1,222	-0,982	Data Acak
35	7	5	5	6,000	1,491	0,671	Data Acak
36	7	5	5	6,000	1,491	0,671	Data Acak
37	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
38	5	5	5	6,000	1,491	-0,671	Data Acak
39	5	6	4	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
40	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
41	4	4	6	5,800	1,424	-1,264	Data Acak
42	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
43	5	5	5	6,000	1,491	-0,671	Data Acak
44	6	4	6	5,800	1,424	0,140	Data Acak
45	6	6	4	5,800	1,424	0,140	Data Acak
46	5	4	6	5,800	1,424	-0,562	Data Acak
47	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
48	7	5	5	6,000	1,491	0,671	Data Acak
49	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak
50	4	4	6	5,800	1,424	-1,264	Data Acak
51	4	4	6	5,800	1,424	-1,264	Data Acak
52	6	5	5	6,000	1,491	0,000	Data Acak

$$Z_{tabel} = 1,96$$

### Lampiran 3. Perhitungan Uji Normalitas Data

#### a. Perhitungan Secara Manual

$x_i$	$f_i$	$F_s(x_i)$	$F_s(x_{i-1})$	$F_0(x_i)$	$D^+$ = $ F_s(x_i) - F_0(x_i) $	$D^-$ = $ F_0(x_i) - F_s(x_{i-1}) $
0,15	4	4	0,015	0,000	0,008	0,004
0,16	29	33	0,127	0,015	0,033	0,003
0,17	61	94	0,362	0,127	0,080	0,004
0,18	107	201	0,773	0,362	0,177	0,017
0,19	104	305	1,173	0,773	0,220	0,064
0,20	67	372	1,431	1,173	0,220	0,060
0,21	69	441	1,696	1,431	<b>0,240</b>	0,036
0,22	51	492	1,892	1,696	0,217	0,069
0,23	26	518	1,992	1,892	0,177	<b>0,089</b>
0,24	2	520	2,000	1,992	0,220	0,060
$D_{hitung} = \max(D^+, D^-)$					0,240	

#### b. Perhitungan Menggunakan Software R Studio

```
library(readxl)
```

```
library(nortest)
```

```
data <- read_excel ("Uji Asumsi.xlsx")
```

```
ks.test (data, "pnorm", mean(data), sd(data))
```

```
Asymptotic one-sample Kolmogorov-Smirnov test
```

```
data: data
```

```
D = 0.1632, p-value = 3.293e-06
```

```
alternative hypothesis: two-sided
```

**Lampiran 4.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,05$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
1	5,100	5,237	5,000	4,763	Terkendali
2	5,245	5,327	5,000	4,673	Terkendali
3	5,433	5,391	5,000	4,609	Tidak Terkendali
4	5,661	5,441	5,000	4,559	Tidak Terkendali
5	5,828	5,481	5,000	4,519	Tidak Terkendali
6	5,887	5,515	5,000	4,485	Tidak Terkendali
7	5,792	5,544	5,000	4,456	Tidak Terkendali
8	5,803	5,568	5,000	4,432	Tidak Terkendali
9	5,763	5,590	5,000	4,410	Tidak Terkendali
10	5,624	5,608	5,000	4,392	Tidak Terkendali
11	5,593	5,625	5,000	4,375	Terkendali
12	5,514	5,639	5,000	4,361	Terkendali
13	5,538	5,652	5,000	4,348	Terkendali
14	5,511	5,663	5,000	4,337	Terkendali
15	5,535	5,673	5,000	4,327	Terkendali
16	5,509	5,682	5,000	4,318	Terkendali
17	5,583	5,690	5,000	4,310	Terkendali
18	5,604	5,697	5,000	4,303	Terkendali
19	5,574	5,703	5,000	4,297	Terkendali
20	5,595	5,709	5,000	4,291	Terkendali
21	5,515	5,714	5,000	4,286	Terkendali
22	5,540	5,719	5,000	4,281	Terkendali
23	5,513	5,723	5,000	4,277	Terkendali
24	5,437	5,726	5,000	4,274	Terkendali
25	5,365	5,730	5,000	4,270	Terkendali
26	5,447	5,733	5,000	4,267	Terkendali

**Lampiran 4.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,05$ . (Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	Ket
27	5,475	5,735	5,000	4,265	Terkendali
28	5,551	5,738	5,000	4,262	Terkendali
29	5,723	5,740	5,000	4,260	Terkendali
30	5,887	5,742	5,000	4,258	Tidak Terkendali
31	6,043	5,744	5,000	4,256	Tidak Terkendali
32	6,141	5,745	5,000	4,255	Tidak Terkendali
33	6,284	5,747	5,000	4,253	Tidak Terkendali
34	6,419	5,748	5,000	4,252	Tidak Terkendali
35	6,548	5,749	5,000	4,251	Tidak Terkendali
36	6,621	5,750	5,000	4,250	Tidak Terkendali
37	6,690	5,751	5,000	4,249	Tidak Terkendali
38	6,805	5,752	5,000	4,248	Tidak Terkendali
39	6,915	5,753	5,000	4,247	Tidak Terkendali
40	6,969	5,753	5,000	4,247	Tidak Terkendali
41	6,971	5,754	5,000	4,246	Tidak Terkendali
42	7,022	5,754	5,000	4,246	Tidak Terkendali
43	7,121	5,755	5,000	4,245	Tidak Terkendali
44	7,165	5,755	5,000	4,245	Tidak Terkendali
45	7,307	5,756	5,000	4,244	Tidak Terkendali
46	7,342	5,756	5,000	4,244	Tidak Terkendali
47	7,475	5,756	5,000	4,244	Tidak Terkendali
48	7,501	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
49	7,576	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
50	7,647	5,757	5,000	4,243	Tidak Terkendali
51	7,665	5,758	5,000	4,242	Tidak Terkendali
52	7,681	5,758	5,000	4,242	Tidak Terkendali

**Lampiran 5.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,1$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
1	5,200	5,474	5,000	4,526	Terkendali
2	5,480	5,638	5,000	4,362	Terkendali
3	5,832	5,745	5,000	4,255	Tidak Terkendali
4	6,249	5,821	5,000	4,179	Tidak Terkendali
5	6,524	5,878	5,000	4,122	Tidak Terkendali
6	6,572	5,922	5,000	4,078	Tidak Terkendali
7	6,314	5,956	5,000	4,044	Tidak Terkendali
8	6,283	5,982	5,000	4,018	Tidak Terkendali
9	6,155	6,003	5,000	3,997	Tidak Terkendali
10	5,839	6,020	5,000	3,980	Terkendali
11	5,755	6,033	5,000	3,967	Terkendali
12	5,580	6,044	5,000	3,956	Terkendali
13	5,622	6,052	5,000	3,948	Terkendali
14	5,560	6,059	5,000	3,941	Terkendali
15	5,604	6,065	5,000	3,935	Terkendali
16	5,543	6,069	5,000	3,931	Terkendali
17	5,689	6,073	5,000	3,927	Terkendali
18	5,720	6,076	5,000	3,924	Terkendali
19	5,648	6,078	5,000	3,922	Terkendali
20	5,683	6,080	5,000	3,920	Terkendali
21	5,515	6,082	5,000	3,918	Terkendali
22	5,563	6,083	5,000	3,917	Terkendali
23	5,507	6,084	5,000	3,916	Terkendali
24	5,356	6,085	5,000	3,915	Terkendali
25	5,221	6,085	5,000	3,915	Terkendali
26	5,399	6,086	5,000	3,914	Terkendali

**Lampiran 5.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,1$ .  
(Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
27	5,459	6,086	5,000	3,914	Terkendali
28	5,613	6,087	5,000	3,913	Terkendali
29	5,952	6,087	5,000	3,913	Terkendali
30	6,256	6,087	5,000	3,913	Tidak Terkendali
31	6,531	6,087	5,000	3,913	Tidak Terkendali
32	6,678	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
33	6,910	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
34	7,119	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
35	7,307	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
36	7,376	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
37	7,439	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
38	7,595	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
39	7,735	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
40	7,762	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
41	7,686	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
42	7,717	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
43	7,845	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
44	7,861	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
45	8,075	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
46	8,067	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
47	8,261	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
48	8,234	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
49	8,311	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
50	8,380	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
51	8,342	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali
52	8,308	6,088	5,000	3,912	Tidak Terkendali



**Lampiran 6.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,2$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
1	5,400	5,949	5,000	4,051	Terkendali
2	5,920	6,215	5,000	3,785	Terkendali
3	6,536	6,358	5,000	3,642	Tidak Terkendali
4	7,229	6,442	5,000	3,558	Tidak Terkendali
5	7,583	6,494	5,000	3,506	Tidak Terkendali
6	7,466	6,526	5,000	3,474	Tidak Terkendali
7	6,773	6,546	5,000	3,454	Tidak Terkendali
8	6,619	6,559	5,000	3,441	Tidak Terkendali
9	6,295	6,567	5,000	3,433	Terkendali
10	5,636	6,572	5,000	3,428	Terkendali
11	5,509	6,575	5,000	3,425	Terkendali
12	5,207	6,577	5,000	3,423	Terkendali
13	5,366	6,579	5,000	3,421	Terkendali
14	5,292	6,580	5,000	3,420	Terkendali
15	5,434	6,580	5,000	3,420	Terkendali
16	5,347	6,581	5,000	3,419	Terkendali
17	5,678	6,581	5,000	3,419	Terkendali
18	5,742	6,581	5,000	3,419	Terkendali
19	5,594	6,581	5,000	3,419	Terkendali
20	5,675	6,581	5,000	3,419	Terkendali
21	5,340	6,581	5,000	3,419	Terkendali
22	5,472	6,581	5,000	3,419	Terkendali
23	5,378	6,581	5,000	3,419	Terkendali
24	5,102	6,581	5,000	3,419	Terkendali
25	4,882	6,581	5,000	3,419	Terkendali
26	5,305	6,581	5,000	3,419	Terkendali

**Lampiran 5.** Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average Sign* untuk  $\lambda = 0,2$ .  
(Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>M<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
27	5,444	6,581	5,000	3,419	Terkendali
28	5,755	6,581	5,000	3,419	Terkendali
29	6,404	6,581	5,000	3,419	Terkendali
30	6,923	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
31	7,339	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
32	7,471	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
33	7,777	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
34	8,021	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
35	8,217	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
36	8,174	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
37	8,139	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
38	8,311	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
39	8,449	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
40	8,359	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
41	8,087	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
42	8,070	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
43	8,256	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
44	8,205	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
45	8,564	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
46	8,451	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
47	8,761	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
48	8,609	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
49	8,687	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
50	8,750	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
51	8,600	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali
52	8,480	6,581	5,000	3,419	Tidak Terkendali

**Lampiran 7.** Perhitungan Nilai  $Z_i$ .

$i$	$M_i$	$Z_i$
1	7	0,991
2	8	1,107
3	9	1,249
4	10	1,571
5	9	1,249
6	7	0,991
7	4	0,685
8	6	0,886
9	5	0,785
10	3	0,580
11	5	0,785
12	4	0,685
13	6	0,886
14	5	0,785
15	6	0,886
16	5	0,785
17	7	0,991
18	6	0,886
19	5	0,785
20	6	0,886
21	4	0,685
22	6	0,886
23	5	0,785
24	4	0,685
25	4	0,685
26	7	0,991

**Lampiran 7. Perhitungan Nilai  $Z_i$ . (Lanjutan)**

$i$	$M_i$	$Z_i$
27	6	0,886
28	7	0,991
29	9	1,249
30	9	1,249
31	9	1,249
32	8	1,107
33	9	1,249
34	9	1,249
35	9	1,249
36	8	1,107
37	8	1,107
38	9	1,249
39	9	1,249
40	8	1,107
41	7	0,991
42	8	1,107
43	9	1,249
44	8	1,107
45	10	1,571
46	8	1,107
47	10	1,571
48	8	1,107
49	9	1,249
50	9	1,249
51	8	1,107
52	8	1,107

**Lampiran 8.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( $Z_i$ )	<i>BKA</i> <sub><i>i</i></sub>	<i>GT</i>	<i>BKB</i> <sub><i>i</i></sub>	<b>Ket</b>
1	0,796	0,809	0,785	0,762	Terkendali
2	0,811	0,818	0,785	0,753	Terkendali
3	0,833	0,824	0,785	0,746	Tidak Terkendali
4	0,870	0,829	0,785	0,741	Tidak Terkendali
5	0,889	0,834	0,785	0,737	Tidak Terkendali
6	0,894	0,837	0,785	0,734	Tidak Terkendali
7	0,884	0,840	0,785	0,731	Tidak Terkendali
8	0,884	0,842	0,785	0,729	Tidak Terkendali
9	0,879	0,844	0,785	0,726	Tidak Terkendali
10	0,864	0,846	0,785	0,725	Tidak Terkendali
11	0,860	0,848	0,785	0,723	Tidak Terkendali
12	0,851	0,849	0,785	0,721	Tidak Terkendali
13	0,853	0,851	0,785	0,720	Tidak Terkendali
14	0,850	0,852	0,785	0,719	Terkendali
15	0,851	0,853	0,785	0,718	Terkendali
16	0,848	0,854	0,785	0,717	Terkendali
17	0,855	0,854	0,785	0,716	Tidak Terkendali
18	0,857	0,855	0,785	0,716	Tidak Terkendali
19	0,853	0,856	0,785	0,715	Terkendali
20	0,855	0,856	0,785	0,714	Terkendali
21	0,846	0,857	0,785	0,714	Terkendali
22	0,848	0,857	0,785	0,714	Terkendali
23	0,845	0,858	0,785	0,713	Terkendali
24	0,837	0,858	0,785	0,713	Terkendali
25	0,830	0,858	0,785	0,712	Terkendali
26	0,838	0,859	0,785	0,712	Terkendali

**Lampiran 8.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,05$ . (Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>Z<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
27	0,840	0,859	0,785	0,712	Terkendali
28	0,848	0,859	0,785	0,712	Terkendali
29	0,868	0,859	0,785	0,711	Tidak Terkendali
30	0,887	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
31	0,905	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
32	0,915	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
33	0,932	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
34	0,948	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
35	0,963	0,860	0,785	0,710	Tidak Terkendali
36	0,970	0,860	0,785	0,710	Tidak Terkendali
37	0,977	0,860	0,785	0,710	Tidak Terkendali
38	0,990	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
39	1,003	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
40	1,008	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
41	1,008	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
42	1,013	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
43	1,024	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
44	1,029	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
45	1,056	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
46	1,058	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
47	1,084	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
48	1,085	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
49	1,093	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
50	1,101	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
51	1,101	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali
52	1,102	0,861	0,785	0,710	Tidak Terkendali

**Lampiran 9.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>Z<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
1	0,806	0,833	0,785	0,738	Terkendali
2	0,836	0,849	0,785	0,722	Terkendali
3	0,877	0,860	0,785	0,711	Tidak Terkendali
4	0,947	0,868	0,785	0,703	Tidak Terkendali
5	0,977	0,873	0,785	0,698	Tidak Terkendali
6	0,978	0,878	0,785	0,693	Tidak Terkendali
7	0,949	0,881	0,785	0,690	Tidak Terkendali
8	0,943	0,884	0,785	0,687	Tidak Terkendali
9	0,927	0,886	0,785	0,685	Tidak Terkendali
10	0,892	0,887	0,785	0,683	Tidak Terkendali
11	0,882	0,889	0,785	0,682	Terkendali
12	0,862	0,890	0,785	0,681	Terkendali
13	0,864	0,891	0,785	0,680	Terkendali
14	0,856	0,891	0,785	0,679	Terkendali
15	0,859	0,892	0,785	0,679	Terkendali
16	0,852	0,892	0,785	0,678	Terkendali
17	0,866	0,893	0,785	0,678	Terkendali
18	0,868	0,893	0,785	0,678	Terkendali
19	0,860	0,893	0,785	0,678	Terkendali
20	0,862	0,893	0,785	0,677	Terkendali
21	0,845	0,894	0,785	0,677	Terkendali
22	0,849	0,894	0,785	0,677	Terkendali
23	0,842	0,894	0,785	0,677	Terkendali
24	0,827	0,894	0,785	0,677	Terkendali
25	0,812	0,894	0,785	0,677	Terkendali
26	0,830	0,894	0,785	0,677	Terkendali

**Lampiran 9.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,1$ . (Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( <i>Z<sub>i</sub></i> )	<i>BKA<sub>i</sub></i>	<i>GT</i>	<i>BKB<sub>i</sub></i>	<b>Ket</b>
27	0,836	0,894	0,785	0,677	Terkendali
28	0,851	0,894	0,785	0,677	Terkendali
29	0,891	0,894	0,785	0,677	Terkendali
30	0,927	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
31	0,959	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
32	0,974	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
33	1,001	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
34	1,026	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
35	1,049	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
36	1,054	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
37	1,060	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
38	1,079	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
39	1,096	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
40	1,097	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
41	1,086	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
42	1,088	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
43	1,104	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
44	1,105	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
45	1,151	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
46	1,147	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
47	1,189	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
48	1,181	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
49	1,188	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
50	1,194	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
51	1,185	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali
52	1,177	0,894	0,785	0,677	Tidak Terkendali



**Lampiran 10.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$ .

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( $Z_i$ )	<i>BKA</i> <sub><i>i</i></sub>	<i>GT</i>	<i>BKB</i> <sub><i>i</i></sub>	<b>Ket</b>
1	0,827	0,880	0,785	0,691	Terkendali
2	0,883	0,907	0,785	0,664	Terkendali
3	0,956	0,921	0,785	0,650	Tidak Terkendali
4	1,079	0,930	0,785	0,641	Tidak Terkendali
5	1,113	0,935	0,785	0,636	Tidak Terkendali
6	1,089	0,938	0,785	0,633	Tidak Terkendali
7	1,008	0,940	0,785	0,631	Tidak Terkendali
8	0,983	0,941	0,785	0,630	Tidak Terkendali
9	0,944	0,942	0,785	0,629	Tidak Terkendali
10	0,871	0,943	0,785	0,628	Terkendali
11	0,854	0,943	0,785	0,628	Terkendali
12	0,820	0,943	0,785	0,628	Terkendali
13	0,833	0,943	0,785	0,628	Terkendali
14	0,824	0,943	0,785	0,627	Terkendali
15	0,836	0,943	0,785	0,627	Terkendali
16	0,826	0,943	0,785	0,627	Terkendali
17	0,859	0,943	0,785	0,627	Terkendali
18	0,864	0,943	0,785	0,627	Terkendali
19	0,849	0,943	0,785	0,627	Terkendali
20	0,856	0,944	0,785	0,627	Terkendali
21	0,822	0,944	0,785	0,627	Terkendali
22	0,835	0,944	0,785	0,627	Terkendali
23	0,825	0,944	0,785	0,627	Terkendali
24	0,797	0,944	0,785	0,627	Terkendali
25	0,774	0,944	0,785	0,627	Terkendali
26	0,818	0,944	0,785	0,627	Terkendali

**Lampiran 10.** Peta Kendali Arcsin *Exponentially Weighted Moving Average* Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,2$ . (Lanjutan)

<i>i</i>	<i>EWMA</i> ( $Z_i$ )	<i>BKA</i> <sub><i>i</i></sub>	<i>GT</i>	<i>BKB</i> <sub><i>i</i></sub>	<b>Ket</b>
27	0,831	0,944	0,785	0,627	Terkendali
28	0,863	0,944	0,785	0,627	Terkendali
29	0,940	0,944	0,785	0,627	Terkendali
30	1,002	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
31	1,052	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
32	1,063	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
33	1,100	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
34	1,130	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
35	1,154	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
36	1,144	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
37	1,137	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
38	1,159	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
39	1,177	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
40	1,163	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
41	1,129	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
42	1,124	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
43	1,149	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
44	1,141	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
45	1,227	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
46	1,203	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
47	1,277	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
48	1,243	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
49	1,244	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
50	1,245	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
51	1,217	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali
52	1,195	0,944	0,785	0,627	Tidak Terkendali

### Lampiran 11. Syntax R untuk Menghitung Nilai ARL Peta Kendali EWMA Sign

```

#Menghitung matrix Q
p_ij <- function(i, j, LCL, UCL, lambda1, N) {
  # Menghitung batas bawah dan batas atas
  lower_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * (j -
1)) - ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
  upper_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * j) -
((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))

  # Menghitung peluang
  p_ij <- (pnorm(upper_bound) - pnorm(lower_bound))

  return(p_ij)
}

# Definisikan nilai parameter
LCL <- n/2 + (3 * sqrt((lambda / (2 - lambda)) * (1 - ((1 - lam
bda)^2))))
UCL <- n/2 + (3 * sqrt((lambda / (2 - lambda)) * (1 - ((1 - lam
bda)^2))))
lambda <- 0.05 # Parameter Lambda
N <- 5 # Nilai N

# Mengisi matriks Q dengan nilai p_ij
Q <- matrix(0, nrow=N, ncol=N)
for (i in 1:N) {
  for (j in 1:N) {
    Q[i, j] <- p_ij(i, j, LCL, UCL, lambda, N)
  }
}

# Mendefinisikan vektor R (transpose dari (1, 0, 0, 0, 0, 0))
R <- matrix(c(1, rep(0, N-1)), nrow = N, ncol = 1)

# Membuat matriks identitas
I <- diag(nrow(Q))

# Menghitung invers dari (I-Q)
inverse_part <- solve(I - Q)

# Menghitung ARL
ARL <- t(R) %*% inverse_part %*% rep(1, nrow(Q))

```

## Lampiran 12. Syntax R untuk Menghitung Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik

```

#Menghitung matrix Q
p_ij <- function(i, j, LCL, UCL, lambda, N) {
  # Menghitung batas bawah dan batas atas
  lower_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * (j -
1)) - ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
  upper_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * (2 * j - (
1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))

  # Menghitung peluang
  p_ij <- (pnorm(upper_bound,mean,sd) - pnorm(lower_bound,mean,sd))

  return(p_ij)
}

# Definisikan nilai parameter
LCL <- (asin(sqrt(p))) - (3 * sqrt((1 / (4 * 10)) * (lambda / (2 - la
mbda)) * (1 - ((1 - lambda)^2))))
UCL <- (asin(sqrt(p))) + (3 * sqrt((1 / (4 * 10)) * (lambda / (2 - la
mbda)) * (1 - ((1 - lambda)^2))))
lambda <- 0.05 # Parameter Lambda
N <- 5 # Nilai N

# Mengisi matriks Q dengan nilai p_ij
Q <- matrix(0, nrow=N, ncol=N)
for (i in 1:N) {
  for (j in 1:N) {
    Q[i, j] <- p_ij(i, j, LCL, UCL, lambda, N)
  }
}

# Mendefinisikan vektor R (transpose dari (1, 0, 0, 0, 0, 0))
R <- matrix(c(1, rep(0, N-1)), nrow = N, ncol = 1)

# Membuat matriks identitas
I <- diag(nrow(Q))

# Menghitung invers dari (I-Q)
inverse_part <- solve(I - Q)

# Menghitung ARL
ARL <- t(R) %*% inverse_part %*% rep(1, nrow(Q))

```

**Lampiran 13.** Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali EWMA Sign untuk  $\lambda = 0,01$  hingga

$$\lambda = 0,9$$

Syntax:

```
# Fungsi calculate_ARL
calculate_ARL <- function(LCL, UCL, lambda) {
  # Fungsi untuk menghitung p_ij
  p_ij <- function(i, j, LCL, UCL, lambda, N) {
    lower_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * (j
- 1)) - ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
    upper_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * j)
- ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
    p_ij <- (pnorm(upper_bound) - pnorm(lower_bound))
    return(p_ij)
  }

  # Mengisi matriks Q dengan nilai p_ij
  Q <- matrix(0, nrow=N, ncol=N)
  for (i in 1:N) {
    for (j in 1:N) {
      Q[i, j] <- p_ij(i, j, LCL, UCL, lambda, N)
    }
  }

  # Definisikan vektor R (transpose dari (1, 0, 0, 0, ..., 0))
  R <- matrix(c(1, rep(0, N-1)), nrow = N, ncol = 1)

  # Membuat matriks identitas
  I <- diag(nrow(Q))

  # Menghitung invers dari (I-Q)
  inverse_part <- solve(I - Q)

  # Menghitung ARL
  ARL <- t(R) %*% inverse_part %*% rep(1, nrow(Q))

  return(ARL)
}

N <- 5
# Menggabungkan dua rentang nilai lambda
lambda_values <- c(seq(0, 0.2, by = 0.01), seq(0.3, 0.9, by = 0.1))

for (lambda in lambda_values) {
```

**Lampiran 13.** Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali EWMA *Sign* untuk  $\lambda = 0,01$  hingga  $\lambda = 0,9$  (Lanjutan)

```
UCL <- n/2 + (3 * sqrt((lambda / (2 - lambda)) * (1 - ((1 -
lambda)^2))))

LCL <- n/2 - (3 * sqrt((lambda / (2 - lambda)) * (1 - ((1 -
lambda)^2))))

ARL <- calculate_ARL(LCL, UCL, lambda)
  cat("Lambda:", lambda, "- ARL:", ARL, "\n")
}
```

**Output:**

```
Lambda: 0.01 - ARL: 4.421601
Lambda: 0.02 - ARL: 4.427515
Lambda: 0.03 - ARL: 4.433097
Lambda: 0.04 - ARL: 4.439246
Lambda: 0.05 - ARL: 4.445472
Lambda: 0.06 - ARL: 4.452069
Lambda: 0.07 - ARL: 4.459187
Lambda: 0.08 - ARL: 4.466582
Lambda: 0.09 - ARL: 4.474529
Lambda: 0.1 - ARL: 4.482851
Lambda: 0.11 - ARL: 4.491772
Lambda: 0.12 - ARL: 4.501152
Lambda: 0.13 - ARL: 4.511113
Lambda: 0.14 - ARL: 4.521756
Lambda: 0.15 - ARL: 4.532976
Lambda: 0.16 - ARL: 4.544939
Lambda: 0.17 - ARL: 4.557556
Lambda: 0.18 - ARL: 4.570925
Lambda: 0.19 - ARL: 4.585134
Lambda: 0.2 - ARL: 4.600113
Lambda: 0.3 - ARL: 4.803733
Lambda: 0.4 - ARL: 5.13446
Lambda: 0.5 - ARL: 5.640625
Lambda: 0.6 - ARL: 6.375992
Lambda: 0.7 - ARL: 7.387805
Lambda: 0.8 - ARL: 8.690479
Lambda: 0.9 - ARL: 10.22464
```

**Lampiran 14.** Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk $\lambda = 0,01$  hingga  $\lambda = 0,9$ 

Syntax:

```

# Fungsi calculate_ARL
calculate_ARL <- function(LCL, UCL, lambda) {
  # Fungsi untuk menghitung p_ij
  p_ij <- function(i, j, LCL, UCL, lambda, N) {
    lower_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * (j
- 1)) - ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
    upper_bound <- LCL + (((UCL - LCL) / (2 * lambda * N)) * ((2 * j)
- ((1 - lambda) * ((2 * i) - 1))))
    p_ij <- (pnorm(upper_bound,mean,sd) - pnorm(lower_bound,mean,sd))
    return(p_ij)
  }

  # Mengisi matriks Q dengan nilai p_ij
  Q <- matrix(0, nrow=N, ncol=N)
  for (i in 1:N) {
    for (j in 1:N) {
      Q[i, j] <- p_ij(i, j, LCL, UCL, lambda, N)
    }
  }

  # Definisikan vektor R (transpose dari (1, 0, 0, 0, ..., 0))
  R <- matrix(c(1, rep(0, N-1)), nrow = N, ncol = 1)

  # Membuat matriks identitas
  I <- diag(nrow(Q))

  # Menghitung invers dari (I-Q)
  inverse_part <- solve(I - Q)

  # Menghitung ARL
  ARL <- t(R) %*% inverse_part %*% rep(1, nrow(Q))

  return(ARL)
}

N <- 5

```

**Lampiran 14.** Perhitungan Nilai ARL Peta Kendali Arcsin EWMA Nonparametrik untuk  $\lambda = 0,01$  hingga  $\lambda = 0,9$  (Lanjutan)

```
# Menggabungkan dua rentang nilai Lambda
lambda_values <- c(seq(0, 0.2, by = 0.01), seq(0.3, 0.9, by = 0.1))

for (lambda in lambda_values) {
  UCL <- round((asin(sqrt(p))) + (3 * sqrt((1 / (4 * 10)) * (lambda /
(2 - lambda)) * (1 - ((1 - lambda)^2))))),5)
  LCL <- round((asin(sqrt(p))) - (3 * sqrt((1 / (4 * 10)) * (lambda /
(2 - lambda)) * (1 - ((1 - lambda)^2))))),5)

  ARL <- calculate_ARL(LCL, UCL, lambda)
  cat("Lambda:", lambda, "- ARL:", ARL, "\n")
}
```

*Output:*

```
Lambda: 0.01 - ARL: 3.752635
Lambda: 0.02 - ARL: 3.755299
Lambda: 0.03 - ARL: 3.760424
Lambda: 0.04 - ARL: 3.765215
Lambda: 0.05 - ARL: 3.770049
Lambda: 0.06 - ARL: 3.774248
Lambda: 0.07 - ARL: 3.779149
Lambda: 0.08 - ARL: 3.784211
Lambda: 0.09 - ARL: 3.788901
Lambda: 0.1 - ARL: 3.794103
Lambda: 0.11 - ARL: 3.799528
Lambda: 0.12 - ARL: 3.804726
Lambda: 0.13 - ARL: 3.810365
Lambda: 0.14 - ARL: 3.816279
Lambda: 0.15 - ARL: 3.822062
Lambda: 0.16 - ARL: 3.82826
Lambda: 0.17 - ARL: 3.834777
Lambda: 0.18 - ARL: 3.841239
Lambda: 0.19 - ARL: 3.848108
Lambda: 0.2 - ARL: 3.855341
Lambda: 0.3 - ARL: 3.942681
Lambda: 0.4 - ARL: 4.067359
Lambda: 0.5 - ARL: 4.238456
Lambda: 0.6 - ARL: 4.461094
Lambda: 0.7 - ARL: 4.734681
Lambda: 0.8 - ARL: 5.047436
Lambda: 0.9 - ARL: 5.374296
```