

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pengendalian kualitas adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar kegiatan produksi dan operasi yang dilaksanakan sesuai dengan apa yang direncanakan dan apabila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut dapat dikoreksi sehingga apa yang diharapkan dapat tercapai proses telah lama digunakan dalam industri untuk memastikan stabilitas dan konsistensi produk (Sofjan Assauri, 1998). Konsep ini kemudian diadaptasi dalam bidang kesehatan masyarakat melalui metode *Statistical Process Control*, yang memungkinkan pemantauan tren epidemiologi secara sistematis. *Statistical Process Control* adalah suatu terminologi yang digunakan untuk menjabarkan penggunaan teknik-teknik dalam memantau dan meningkatkan performans untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Pada dasarnya *Statistical Process Control* merupakan penggunaan metode statistik untuk mengumpulkan dan menganalisa data dalam menentukan dan mengawasi kualitas. Metode yang termasuk dalam SPC adalah peta kendali (Nelwati dkk, 2019).

Peta kendali adalah alat statistik yang digunakan untuk memantau perubahan suatu proses dari waktu ke waktu, dengan tujuan utama menentukan apakah proses tersebut berada dalam kondisi yang terkendali atau mengalami penyimpangan (Maharani dkk, 2025). Salah satu peta kendali yang digunakan adalah peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average*. Peta kendali EWMA diperkenalkan pertama kali oleh S.W Roberts pada tahun 1959, Peta kendali ini terutama digunakan untuk mendeteksi adanya pergeseran nilai mean atau rata-rata yang kecil dalam suatu proses (Nelwati dkk, 2019). Namun, statistik *plotting* EWMA hanya memberikan parameter yang lebih besar pada data terbaru dan parameter yang lebih kecil pada data sebelumnya dimana nilai parameter menurun secara eksponensial dari data terbaru ke data sebelumnya (Hunter, 1986). Sehingga, Peta kendali EWMA dapat digabungkan dengan peta kendali MA yang lebih sensitif dalam mengatasi fluktuasi terhadap perubahan kecil dalam parameter yang digunakan dan lebih mudah dipahami serta diterapkan karena dibuat menggunakan rata-rata sederhana (Khan dkk., 2020).

Penelitian Sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sukparungsee dkk (2020) yang menggabungkan peta kendali Shewart, EWMA, dan MA untuk mendeteksi perubahan rata-rata dalam data. Hasil yang dilakukan dalam penelitian Sukparungsee dkk (2020) menunjukkan bahwa peta kendali gabungan EWMA-MA lebih baik dalam mendeteksi pergeseran kecil berdasarkan nilai ARL menggunakan simulasi monte carlo (MC) yang lebih kecil dibandingkan peta kendali klasik lainnya. Selain itu, Penelitian oleh Ihwah dkk. (2021) menunjukkan bahwa *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* (EWMA-MA) lebih sensitif terhadap

perubahan kecil yang memberikan stabilitas tambahan dengan memuluskan fluktuasi acak pada data yang mengalami *out of control*. Sehingga, kombinasi peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* (EWMA-MA) kedua metode ini diharapkan mampu mendeteksi perubahan kecil pada data dan memberikan hasil yang lebih akurat dalam mendeteksi.

Demam berdarah dengue merupakan salah satu penyakit yang menjadi perhatian utama di Indonesia, terutama karena tingginya angka kejadian dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Penyakit ini disebabkan oleh virus dengue yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti*. Sejak pertama kali dilaporkan di Indonesia pada tahun 1968, kasus Demam Berdarah Dengue terus meningkat, dengan fluktuasi musiman yang signifikan. Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan, jumlah kasus Demam Berdarah Dengue mencapai lebih dari 100.000 per tahun dalam beberapa dekade terakhir, menjadikannya sebagai salah satu penyakit endemis yang memerlukan pengendalian serius (Kemenkes, 2023). Dalam upaya pengendalian Demam Berdarah Dengue, sistem surveilans epidemiologi memainkan peran penting dalam mendeteksi dan mencegah penyebaran wabah secara lebih dini. Namun, metode konvensional sering kali kurang responsif terhadap perubahan tren kasus secara real-time. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan sistem pelaporan manual dan kurangnya integrasi data lintas wilayah. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis data yang lebih adaptif untuk memantau dinamika penyebaran penyakit ini (Kemenkes, 2023).

Dengan mempertimbangkan pentingnya deteksi dini dan pengendalian wabah Demam Berdarah Dengue, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* berdasarkan data kasus Demam Berdarah Dengue di Kota Makassar periode Januari 2013 hingga Desember 2024. Analisis retrospektif ini tidak hanya akan membantu memahami pola temporal dan spasial penyebaran penyakit tetapi juga memberikan rekomendasi sistem peringatan dini berbasis bukti untuk mendukung program eliminasi Demam Berdarah Dengue nasional pada tahun yang akan datang.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini yang bertujuan untuk merinci dan membatasi cakupan serta lingkup topik penelitian agar lebih terfokus adalah:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kasus penderita demam berdarah di Kota Makassar dari tahun 2013 hingga 2024, yang mencakup laporan bulanan dari Kementerian Kesehatan dan data epidemiologi dari Badan Pusat Statistik Kota Makassar.
2. Nilai parameter yang digunakan adalah $H = 3$, $W = 2$ dan $\lambda = 0.01, 0.02, \dots, 0.18$.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membentuk peta kendali *Exponensial Weighted Moving Average-Moving Average* pada data kasus demam berdarah di Kota Makassar pada tahun 2013 hingga tahun 2024.
2. Mengetahui kinerja peta kendali *Exponensial Weighted Moving Average-Moving Average* pada data kasus demam berdarah dengue di Kota Makassar pada tahun 2013 hingga tahun 2024.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah wawasan keilmuan dan pengetahuan mengenai penggunaan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* sebagai alat pengendalian kualitas dalam epidemiologi penyakit menular seperti demam berdarah dengue.
2. Menjadi bahan evaluasi dan perkembangan proses berkelanjutan untuk meningkatkan respons terhadap wabah demam berdarah dengue di masa mendatang, serta memberikan rekomendasi berbasis bukti untuk sistem peringatan dini kesehatan masyarakat.
3. Menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dalam bidang epidemiologi dan pengendalian penyakit menular, khususnya terkait dengan penerapan metode statistik dalam analisis data kesehatan masyarakat.

1.5 Landasan Teori

1.5.1. Statistical Process Control (SPC)

Statistical Process Control (SPC) adalah metode pengendalian kualitas yang awalnya dikembangkan dalam industri manufaktur untuk memantau dan mengendalikan variasi dalam proses produksi (Montgomery, 2009). SPC menggunakan alat statistik seperti peta kendali (*control chart*) untuk membedakan antara variasi yang disebabkan oleh penyebab umum (*common causes*) dan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special causes*) (Montgomery, 2009). Dalam konteks kesehatan masyarakat, SPC dapat digunakan untuk memantau tren penyakit, mengevaluasi efektivitas intervensi, mengidentifikasi potensi wabah, dan meningkatkan kualitas layanan kesehatan (Benneyan et al., 2003; Woodall, 2006).

Statistical Process Control adalah metode yang awalnya dikembangkan dalam industri manufaktur untuk memantau dan mengendalikan variasi dalam proses produksi. Dalam beberapa tahun terakhir, penerapan *Statistical Process Control* dalam bidang kesehatan semakin meningkat, terutama dalam upaya meningkatkan kualitas layanan dan keselamatan pasien. Misalnya, penelitian oleh González Campos et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan peta kendali dalam

departemen teknik klinis dapat mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan mengoptimalkan efisiensi operasional.

Implementasi *Statistical Process Control* dalam layanan kesehatan memungkinkan pemantauan proses secara *real-time*, sehingga variasi yang tidak diinginkan dapat segera terdeteksi dan ditangani. Hal ini penting dalam konteks pengendalian infeksi nosokomial dan peningkatan kepatuhan terhadap protokol medis. Studi oleh Sasikumar dan Sujatha (2024) mengkaji berbagai aplikasi peta kendali di sektor kesehatan, menyoroti pentingnya pemilihan dan desain peta kendali yang tepat untuk efektivitas pemantauan.

Selain itu, pendekatan *Statistical Process Control* telah diterapkan dalam pemantauan penyakit kardiovaskular. Penelitian oleh Erfanian dan Sadeghpour Gildeh (2024) menggunakan model aditif umum (GAMs) untuk membangun profil pemantauan pasien stroke, menunjukkan bahwa peta kendali T^2 lebih efektif dalam mendeteksi perubahan sedang hingga besar dalam proses.

Penerapan *Statistical Process Control* dalam sektor kesehatan menghadapi tantangan, termasuk kebutuhan akan pelatihan yang memadai bagi staf dan integrasi dengan sistem informasi kesehatan yang ada. Namun, manfaat potensial dalam meningkatkan efisiensi operasional dan hasil klinis membuat *Statistical Process Control* menjadi alat yang berharga dalam upaya peningkatan kualitas layanan kesehatan. Penelitian terbaru menekankan perlunya pendekatan yang disesuaikan dengan konteks lokal untuk memastikan efektivitas penerapan *Statistical Process Control* dalam berbagai *setting* layanan kesehatan.

1.5.2. Peta Kendali (*Control Chart*)

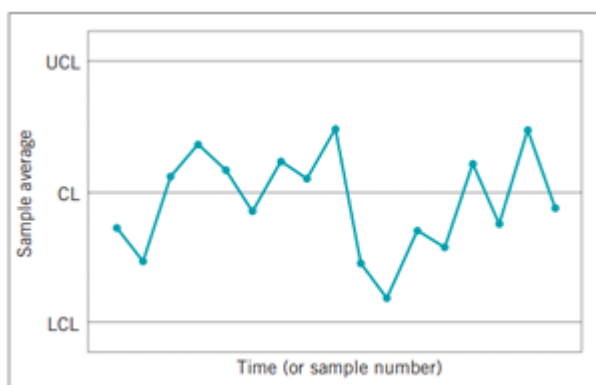
Peta kendali (*control chart*) adalah grafik yang digunakan untuk memantau stabilitas dan variabilitas suatu proses dari waktu ke waktu (Montgomery, 2009). Peta kendali terdiri dari garis tengah (*center line*, CL) yang mewakili nilai rata-rata proses, batas kendali atas (*upper control limit*, UCL), dan batas kendali bawah (*lower control limit*, LCL) (Montgomery, 2009). Data yang berada di luar batas kendali menunjukkan bahwa proses tersebut tidak terkendali secara statistik dan perlu dilakukan investigasi dan tindakan korektif (Montgomery, 2009).

Tujuan utama dari peta kendali adalah untuk membedakan antara variasi yang disebabkan oleh penyebab umum (*common causes*) dan variasi yang disebabkan oleh penyebab khusus (*special causes*). Variasi akibat penyebab umum merupakan fluktuasi alami dalam proses yang diharapkan terjadi, sementara variasi akibat penyebab khusus menunjukkan adanya faktor eksternal atau perubahan signifikan yang mempengaruhi proses. Ketika data yang diplot berada di luar batas kendali, hal

ini menandakan bahwa proses tersebut mungkin tidak terkendali secara statistik dan memerlukan investigasi lebih lanjut serta tindakan korektif.

Penerapan peta kendali tidak terbatas pada industri manufaktur, tetapi juga meluas ke berbagai bidang seperti layanan kesehatan, keuangan, dan teknologi informasi. Dalam layanan kesehatan, misalnya, peta kendali digunakan untuk memantau indikator kinerja klinis dan operasional, membantu dalam mendeteksi perubahan signifikan yang memerlukan intervensi segera. Penggunaan peta kendali dalam berbagai sektor ini menegaskan fleksibilitas dan efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi proses.

Penting untuk dicatat bahwa peta kendali berbeda dari batas spesifikasi. Batas spesifikasi ditentukan berdasarkan persyaratan produk atau layanan dan mencerminkan ekspektasi pelanggan atau standar industri. Sebaliknya, batas kendali dihitung dari data proses aktual dan mencerminkan kinerja proses saat ini. Oleh karena itu, meskipun suatu proses mungkin beroperasi dalam batas spesifikasi, jika data menunjukkan pola yang berada di luar batas kendali, ini menunjukkan bahwa proses tersebut tidak stabil dan memerlukan perhatian lebih lanjut. Ilustrasi peta kendali dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Peta Kendali

1.5.3. Uji Normalitas

Uji normalitas adalah uji statistik yang digunakan untuk menguji asumsi distribusi normal pada data. Pengujian ini berguna untuk memastikan bahwa data yang digunakan merupakan sampel yang berasal dari populasi yang disribusi normal (Cahyono, 2015). Ada banyak metode yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah data berdistribusi normal atau tidak. Adapun cara untuk mengetahui kenormalan data adalah dengan melihat grafik histogram dan melalui grafik normal probability plot dengan melihat pola dari grafik atau plot tersebut. Namun, uji normalitas dengan grafik tidak dapat memsatkan bahwa data dapat dianggap normal karena hasil uji yang dilihat secara visual dipengaruhi oleh perbedaan interpretasi yang dibuat oleh masing-masing individu. Akibatnya, perlu dilakukan pengujian secara statistik (Ahadi dkk, 2023).

Salah satu metode uji statistik normalitas adalah uji Kolgomorof Smirnov yang dirancang oleh Andrey Kolmogorov dan Nikolai Smirnov. Uji Kolgomorov Smirnov termasuk uji nonparametrik sehingga penggunaannya tidak membutuhkan adanya asumsi terkait distribusi yang mendasari data yang akan di uji. Uji Kolgomorov Smirnov dilakukan dengan membandingkan antara nilai $\alpha = 0,05$ dan nilai P-value. Pengujian normalitas menggunakan uji Kolgomorov Smirnov adalah sebagai berikut (Quraissy, 2022):

Hipotesis :

H_0 : Data berdistribusi normal

H_1 : Data tidak berdistribusi normal

Statistik Uji :

$$D_{hitung} = \max|S_n(x) - F_0(x)| \quad (1)$$

Keterangan :

D_{hitung} : Nilai terbesar dari selisih mutlak $S_n(x)$ dan $F_0(x)$

$S_n(x)$: Distribusi frekuensi kumulatif empiris

$F_0(x)$: Distribusi frekuensi kumulatif teoritis

Kriteria Pengujian :

Jika nilai $D_{hitung} < D_{tabel}(\alpha; n)$ ($\alpha = 0,05$) dengan nilai D_{tabel} merupakan tabel nilai kritis uji Kolmogorov Smirnov, maka H_0 diterima yang artinya data berdistribusi normal.

1.5.4. Exponentially Weighted Moving Average (EWMA)

Peta kendali EWMA adalah jenis peta kendali yang memberikan bobot eksponensial pada data terbaru, sehingga lebih sensitif terhadap perubahan kecil dan bertahap dalam proses (Roberts, 1959). Statistik EWMA dihitung sebagai berikut:

$$Z_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (2)$$

di mana Z_i adalah nilai EWMA pada waktu i , X_i adalah nilai data pada waktu i , λ adalah parameter bobot ($0 < \lambda \leq 1$), dan $z_0 = \mu_0$ adalah nilai awal yang stabil, Dimana $X_i (i = 1, 2, \dots)$ adalah observasi yang independen dan berdistribusi normal, maka statistik Z_i untuk rata-rata sampling digunakan $\bar{X}$. Nilai λ menentukan seberapa besar bobot yang diberikan pada data terbaru. Nilai λ yang lebih kecil memberikan bobot yang lebih besar pada data historis, sehingga peta kendali lebih sensitif terhadap perubahan kecil. Batas kendali atas (UCL) dan batas kendali bawah (LCL) dihitung berdasarkan variansi EWMA (Hunter, 1986).

Adapun rumus yang digunakan dalam EWMA chart (Sukparungsee et al, 2020) :

$$E(Z_i) = \mu_0$$

$$Var(Z_i) = \sigma_{\bar{X}}^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \right); i = 1, 2, \dots$$

Atau

$$Var(Z_i) = \sigma_X^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) \quad (3)$$

Oleh karena itu, perhitungan batas atas dan batas bawah EWMA sebagai berikut:

$$LCL = \mu_0 - H \sqrt{\sigma_X^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right)} \quad (4)$$

$$UCL = \mu_0 + H \sqrt{\sigma_X^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right)} \quad (5)$$

Dengan H adalah koefisien batas control diagram EWMA, μ_0 adalah rata-rata dan σ_X^2 merupakan varians.

1.5.5. Moving Average (MA)

Peta kendali Moving Average (MA) adalah metode statistik yang digunakan untuk menghaluskan data *time series* dengan menghitung rata-rata dari sejumlah titik data terakhir (Anderson, 1971). MA membantu mengurangi fluktuasi acak dalam data, sehingga tren yang lebih jelas dapat teridentifikasi. Berdasarkan grafik MA diketahui mean untuk setiap nilai w dalam waktu, dimana diasumsikan nilai K dengan random sampel acak berukuran $n \geq 1$, misalkan $\bar{X}_1, \dots, \bar{X}_k$ adalah variabel independen dan terdistribusi identik (i.i.d.) dalam waktu dan merupakan rata-rata sampel ke- i untuk $i = 1, \dots, k$ sehingga diketahui rumus sebagai berikut (Sukparungsee et al, 2020) :

$$\bar{X}_i = \frac{X_{i1} + X_{i2} + X_{i3} + \dots + X_{in}}{n} \quad (6)$$

Sehingga statistik MA dihitung sebagai berikut :

$$MA_i = \begin{cases} \frac{\bar{X}_i + \bar{X}_{i-1} + \bar{X}_{i-2} + \dots}{i} & , i < w \\ \frac{\bar{X}_i + \bar{X}_{i-1} + \dots + \bar{X}_{i-w+1}}{w} & , i \geq w \end{cases} \quad (7)$$

Dengan lebar grafik, adapun nilai ekspektasi dan varians dari rata-rata bergerak MA_i sebagai berikut (Sukparungsee et al, 2020) :

$$E(MA_i) = E(\bar{X}_i) = \mu \quad (8)$$

$$Var(MA_i) = \begin{cases} \frac{\sigma^2}{ni} & , i < w \\ \frac{\sigma^2}{nw} & , i \geq w \end{cases} \quad (9)$$

Oleh karena itu perhitungan batas atas dan batas bawah peta kendali MA sebagai berikut:

$$LCL = \begin{cases} \mu - \frac{H\sigma}{\sqrt{ni}} & , i < w \\ \mu - \frac{H\sigma}{\sqrt{nw}} & , i \geq w \end{cases} \quad (10)$$

$$UCL = \begin{cases} \mu + \frac{H\sigma}{\sqrt{ni}} & , i < w \\ \mu + \frac{H\sigma}{\sqrt{nw}} & , i \geq w \end{cases} \quad (11)$$

di mana data dikatakan *in control* ketika $LCL < MA_i < UCL$.

dengan:

UCL : Upper Control Line

LCL : Lower Control Line

μ : Mean

σ : Standart Deviation

w : Rentang rata-rata bergerak

Dengan H adalah koefisien control batas MA, μ adalah rata-rata dan σ^2 adalah varians proses terkendali.

1.5.6. Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average (EWMA-MA)

Grafik EWMA-MA dihasilkan dari penggabungan grafik EWMA dengan grafik MA. Grafik tersebut merupakan alternatif yang efektif untuk grafik EWMA dan MA. Statistik masih termasuk dalam grafik EWMA, seperti yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$Z_i = \lambda MA_i + (1 - \lambda)Z_{i-1}, i = 1, 2, \dots \quad (12)$$

Dengan Z_i adalah nilai EWMA-MA pada waktu i , MA_i adalah nilai rata-rata data moving average pada waktu i , λ adalah parameter dalam data yang memiliki nilai $0 < \lambda \leq 1$, Z_0 adalah nilai awal dan set yang sama dengan μ_0 , kemudian UCL dan LCL EWMA-MA adalah nilai ekspektasi data yang akan sama dengan nilai MA. Varians diterapkan antara grafik EWMA dan MA dan diperoleh rumus UCL dan LCL sebagai berikut:

$$LCL = \mu_{MA} - H \sqrt{\left(\frac{\sigma_{MA}^2}{w}\right) \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda}\right)} \quad (13)$$

$$UCL = \mu_{MA} + H \sqrt{\left(\frac{\sigma_{MA}^2}{w}\right) \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda}\right)} \quad (14)$$

Dengan H adalah koefisien control batas EWMA-MA, μ_{MA} adalah rata-rata proses dan σ_{MA}^2 adalah varians proses terkendali (Sukparungsee et al, 2020).

1.5.7. Demam Berdarah Dengue (DBD)

Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah penyakit infeksi virus yang disebabkan oleh salah satu dari empat serotipe virus dengue (DENV-1, DENV-2, DENV-3, dan DENV-4).

4) (WHO, 2023; Bhatt et al., 2013). Virus ini ditularkan kepada manusia melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* yang terinfeksi (Gubler, 1998). DBD merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan di banyak negara tropis dan subtropis, terutama di Asia Tenggara, Amerika Latin, dan Afrika (Kemenkes RI, 2023; Guzman et al., 2010).

Gejala DBD bervariasi dari demam ringan hingga demam tinggi yang melumpuhkan, disertai dengan sakit kepala parah, nyeri di belakang mata, nyeri otot dan sendi, mual, muntah, ruam kulit, dan perdarahan (WHO, 2023). Dalam kasus yang parah, DBD dapat berkembang menjadi demam berdarah dengue (DHF) atau sindrom syok dengue (DSS), yang dapat menyebabkan perdarahan masif, kebocoran plasma, kegagalan organ, syok, dan bahkan kematian (WHO, 2023; Wilder-Smith & Schwartz, 2005).

Di Indonesia, DBD pertama kali dilaporkan pada tahun 1968 di Jakarta dan Surabaya (Kemenkes RI, 2023). Sejak saat itu, DBD telah menyebar ke seluruh wilayah Indonesia dan menjadi penyakit endemis yang signifikan (Kemenkes RI, 2023). Insiden DBD di Indonesia berfluktuasi dari tahun ke tahun, dengan puncak kejadian biasanya terjadi pada musim hujan (Kemenkes RI, 2023). Faktor-faktor yang mempengaruhi epidemiologi DBD di Indonesia meliputi kepadatan populasi, sanitasi lingkungan, iklim, mobilitas penduduk, dan efektivitas program pengendalian vektor (Harapan et al., 2019).

1.5.8. Performance Pengukuran

Ada beberapa metode untuk mengukur efisiensi diagram kontrol. Ukuran kinerja yang paling populer adalah panjang rata-rata (ARL). ARL adalah sampel titik di bawah batas kontrol sebelum proses pemberian sinyal untuk mengakses batas kontrol untuk pertama kalinya. ARL_0 dipertimbangkan dalam 2 kasus. ARL_0 digunakan untuk mempertimbangkan proses dalam kendali, sedangkan ARL_1 digunakan untuk mempertimbangkan proses luar kendali.

Rata-rata distribusi RL adalah ARL, deviasi standar panjang lintasan (SDRL) juga dihitung. Bagan kontrol yang memiliki efisiensi terbaik akan memberikan ARL_1 terbaik dari bagan kontrol. Itu berarti bagan kontrol tersebut dapat mendeteksi perubahan rata-rata proses secepatnya.

Dalam penelitian ini, ARL digunakan sebagai kriteria untuk mengukur efisiensi diagram kendali yang dievaluasi dengan menggunakan simulasi *Monte Carlo* (MC), MC mudah diprogram dan disesuaikan untuk mengontrol dan menguji akurasi, yang merupakan estimasi ARL yang dihasilkan dari pembuatan program yang disimulasikan untuk menemukan nilai ARL yang dapat ditemukan sebagai berikut.

$$ARL = \frac{\sum_{i=1}^N RL_t}{N} \quad (15)$$

Dimana RL_t adalah jumlah sampel sebelum proses *out control* terdeteksi pertama dalam simulasi data-t, sedangkan N adalah jumlah pengulangan dalam simulasi.

1.5.9. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah metode komputasi yang memanfaatkan bilangan acak dan teori probabilitas untuk menyelesaikan berbagai masalah peramalan, estimasi, dan analisis risiko. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Stanislaw Ulam dan Nicholas Metropolis, yang menamainya berdasarkan kasino terkenal di Monte Carlo, Monako, karena hubungannya dengan permainan peluang. Keunggulan utama dari simulasi Monte Carlo adalah fleksibilitasnya dalam menangani berbagai distribusi probabilitas dan kemampuannya dalam mengatasi masalah kompleks yang sulit diselesaikan secara analitis (Manik et al, 2024).

Dalam implementasinya, simulasi Monte Carlo melibatkan pembuatan sejumlah besar sampel acak dari distribusi probabilitas tertentu untuk mengeksplorasi kemungkinan hasil dari suatu proses atau sistem. Proses ini memungkinkan peneliti untuk memperkirakan distribusi hasil yang mungkin terjadi dan mengidentifikasi variabilitas serta ketidakpastian yang terkait. Sebagai contoh, dalam penelitian oleh Yeganeh et al (2024), metode ini digunakan untuk memantau kinerja layanan kesehatan, menunjukkan efektivitasnya dalam mendeteksi perubahan signifikan dalam proses klinis.

Selain itu, simulasi Monte Carlo telah diterapkan dalam bidang keuangan untuk penetapan harga opsi dan analisis risiko portofolio. Metode ini memungkinkan analisis untuk memodelkan berbagai skenario pasar dan mengevaluasi potensi kerugian atau keuntungan di bawah kondisi yang berbeda. Kajian literatur oleh Zhang (2020) menyoroti kemajuan terbaru dalam metode Monte Carlo modern yang meningkatkan efisiensi kuantifikasi dan propagasi ketidakpastian dalam konteks keuangan.

Dalam bidang teknik dan manufaktur, simulasi Monte Carlo digunakan untuk memperkirakan keandalan sistem dan mengoptimalkan proses produksi. Dengan mensimulasikan berbagai kemungkinan kegagalan komponen dan variasi proses, insinyur dapat mengidentifikasi area kritis yang memerlukan perhatian lebih lanjut. Penelitian oleh Ghogh et al. (2020) memberikan tinjauan komprehensif tentang algoritma sampling, termasuk metode Monte Carlo, yang digunakan dalam berbagai aplikasi teknik (Ghogh et al., 2020).

Selain itu, simulasi Monte Carlo juga semakin banyak digunakan dalam bidang kesehatan, khususnya untuk perencanaan dan evaluasi sistem layanan kesehatan, estimasi penyebaran penyakit, dan penilaian risiko klinis. Misalnya, dalam studi manajemen rumah sakit, simulasi ini dapat membantu memprediksi kebutuhan tempat tidur berdasarkan tren masuknya pasien dan tingkat pemulangan, sehingga meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya. Penelitian terbaru oleh Valtorta et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan simulasi Monte Carlo dalam epidemiologi dapat memperkirakan penyebaran infeksi penyakit menular dengan mempertimbangkan ketidakpastian parameter model (Valtorta et al., 2023).

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Sumber Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) dan Badan Pusat Statistik Kota Makassar. Data yang digunakan adalah data kasus penderita demam berdarah *dengue* di Kota Makassar periode Januari 2013 hingga Desember 2024. Dalam penelitian ini, data Fase 1 yang digunakan sebanyak 132 data yaitu data pada Januari 2013 – Desember 2023 dan data Fase 2 yang digunakan sebanyak 12 data yaitu pada Januari 2024 – Desember 2024. Data mencakup jumlah kasus Demam Berdarah *Dengue* yang dilaporkan setiap bulan dari Kementerian Kesehatan dan Badan Pusat Statistik di Kota Makassar.

2.2 Identifikasi Variabel

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Kasus Demam Berdarah *Dengue* merupakan jumlah kasus penderita Demam Berdarah *Dengue* yang dilaporkan setiap bulan pada Instansi Pemerintah. Data ini digunakan sebagai indikator utama untuk memantau tren kejadian Demam Berdarah *Dengue* dan mendeteksi potensi terjadinya wabah. Peningkatan kasus penderita Demam Berdarah *Dengue* yang signifikan dan memerlukan tindakan pengendalian yang cepat dan tepat.

2.3 Metode Analisis

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* merupakan dua metode gabungan. Adapun langkah-langkah analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain :

1. Mengumpulkan data jumlah kasus Demam Berdarah *Dengue* di Kota Makassar dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI) dan Badan Pusat Statistik Kota Makassar dengan periode Januari 2013 – Desember 2024.
2. Mengkaji rumus batas pengendalian peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* (EWMA-MA).
3. Melakukan pengujian normalitas menggunakan Uji Kolgomorov-Smirnov pada data jumlah kasus demam berdarah di Kota Makassar periode Januari 2013 – Desember 2024 dengan menggunakan SPSS.
4. Tahap analisis Fase 1 pada data sebanyak 132 data dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a) Menentukan parameter dan menghitung *Moving Average* (MA) dengan parameter $w = 2$. Kemudian menghitung variansi *Moving Average* σ_{MA}^2 dengan rumus pada persamaan (6) dan (9).
 - b) Menghitung *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* dengan fungsi Z digunakan untuk menghitung nilai EWMA-MA dengan parameter λ (lambda) = 0.01, 0.02, ..., 0.18 dengan rumus pada persamaan (12).
 - c) Membentuk peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* pada data Fase 1 untuk beberapa nilai pembobot yang dicoba dalam menentukan nilai pembobot optimum untuk mengetahui apakah proses terkendali atau tidak dengan persamaan (13) dan persamaan (14) :
 - a. Menggunakan $H = 3$ sebagai konstanta batas kendali.
 - b. Menghitung *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL).
 - d) Menentukan status pengendalian sampai diperoleh peta kendali yang semua titiknya terkendali dengan kriteria :
 - a. Jika $LCL_k < Z_k < UCL_k \Rightarrow In\ Control$.
 - b. Jika Z_k keluar dari batas kendali, maka *Out of Control*.
5. Tahap analisis Fase 2 pada data sebanyak 12 data dilakukan dengan langkah-langkah berikut :
- a) Menghitung *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* dengan fungsi Z digunakan untuk menghitung nilai EWMA-MA dengan parameter λ (lambda) yang sama pada Fase 1.
 - b) Membentuk peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* pada data Fase 2 menggunakan nilai batas kendali dari Fase 1.
 - c) Menghitung nilai jumlah Out Of Control pada peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average*.
 - d) Memvisualisasikan peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* yang berada dalam batas kendali (*In Control*).
6. Menghitung evaluasi kinerja peta kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* dengan menggunakan *Software R* pada Simulasi Monte Carlo:
- a. Menetapkan berbagai tingkat pergeseran proses δ dari 0 hingga 4.
 - b. Melakukan simulasi sebanyak $n = 10000$ kali untuk setiap δ .

7. Melakukan evaluasi model : Kinerja Peta Kendali *Exponentially Weighted Moving Average-Moving Average* (EWMA-MA) menggunakan rumus persamaan (15).
 - a. Performa peta kendali diukur dengan kriteri :
 - Jika ARL tinggi saat $\delta = 0$, sistem stabil tanpa perubahan.
 - Jika ARL turun signifikan saat $\delta \neq 0$, peta kendali sensitif terhadap perubahan.
8. Menarik Kesimpulan