

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital dan persaingan yang semakin ketat di industri telekomunikasi menuntut perusahaan menyediakan layanan yang cepat, efisien, dan konsisten. Dalam industri jasa seperti telekomunikasi, kualitas layanan tidak hanya ditentukan oleh produk, tetapi juga oleh pengalaman pelayanan yang diterima pelanggan. Menurut Garvin (1988), pengalaman ini tercermin pada dimensi *reliability* dan *responsiveness*, yaitu kemampuan perusahaan memberikan layanan yang tepat, stabil, serta cepat merespons kebutuhan pelanggan. Pelayanan berlangsung setiap hari dan berulang dari waktu ke waktu, sehingga kualitas layanan perlu dipantau sebagai suatu proses berkelanjutan, bukan hanya dievaluasi secara sesaat.

Pendekatan yang relevan untuk pemantauan proses berkelanjutan adalah *Statistical Process Control* (SPC). SPC merupakan metode statistik untuk mengendalikan dan memonitor kestabilan proses melalui analisis variasi yang terjadi pada data proses, sehingga dapat diketahui apakah proses berada dalam kondisi terkendali atau mengalami penyimpangan (Shiyamy dkk., 2021). Dalam SPC, variasi dibedakan menjadi variasi alami (*common cause*) dan variasi akibat faktor khusus (*assignable cause*). Pembedaan ini penting sebagai dasar pengambilan keputusan perbaikan proses karena hanya variasi faktor khusus yang menandakan adanya masalah proses yang perlu ditindaklanjuti. Penerapan SPC di Indonesia juga semakin meluas karena prinsipnya sesuai untuk proses berulang pada berbagai sektor, sehingga dapat digunakan sebagai sistem pemantauan kualitas berbasis data (Kurnia dkk., 2021).

Alat utama dalam SPC adalah peta kendali (*control chart*), yaitu grafik deret waktu yang memuat garis pusat proses serta batas kendali atas dan bawah untuk menilai kestabilan proses secara statistik. Titik data yang berada di luar batas kendali atau membentuk pola yang tidak acak dapat menjadi sinyal bahwa proses berpotensi tidak terkendali dan memerlukan identifikasi penyebabnya (Gunawan & Tannady, 2016). Peta kendali memungkinkan perusahaan melakukan pengawasan proses secara kontinu dan memperoleh sinyal dini terhadap penurunan kinerja proses layanan (Yovita, 2019). Pemilihan jenis peta kendali dalam SPC ditentukan oleh karakteristik data yang dipantau, sehingga klasifikasi data menjadi langkah penting sebelum menetapkan metode pemantauan yang digunakan.

Data yang digunakan dalam peta kendali pada SPC secara umum dibedakan menjadi data variabel dan data atribut. Pengendalian data atribut sering dilakukan menggunakan peta kendali p untuk memantau proporsi kejadian tidak sesuai pada setiap periode. Penerapan peta kendali p pada konteks kualitas produk ditunjukkan oleh Prasyawalli dkk. (2025) yang menganalisis data atribut cacat dan tidak cacat pada produk melon dan menemukan 75 buah cacat dari 1.425 buah dengan proporsi cacat tertinggi sebesar 16 persen pada minggu keempat. Pengembangan peta kendali p melalui pendekatan Bayesian dilakukan oleh Lutfah (2018) dengan

membandingkan grafik kendali atribut p klasik dan Bayesian pada data jumlah cacat, di mana hasil penelitian menunjukkan bahwa grafik kendali atribut p Bayesian menghasilkan nilai ARL1 paling kecil, yang mengindikasikan kemampuan deteksi kondisi *out-of-control* yang lebih tinggi dibandingkan grafik kendali atribut p klasik. Pendekatan lain melalui *fuzzy* ditunjukkan oleh Putri dan Aksioma (2018) yang membandingkan peta kendali demerit dan peta kendali *fuzzy* demerit pada data atribut berupa proporsi cacat setiap *line* produksi kantong semen selama periode Januari hingga Desember 2017, dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa proses produksi belum terkendali secara statistik dan peta kendali *fuzzy* demerit lebih sensitif karena mampu menangkap lebih banyak titik *out-of-control* dibandingkan peta kendali demerit.

Pendekatan *fuzzy* dalam peta kendali telah banyak digunakan untuk menangani ketidakjelasan linguistik dan subjektivitas dalam penilaian kualitas (Gülbay & Kahraman, 2007; Faraz & Shapiro, 2010). Pendekatan tersebut masih memiliki keterbatasan karena hanya merepresentasikan derajat keanggotaan tanpa mampu membedakan secara eksplisit antara informasi yang benar, salah, dan tidak pasti. Kondisi pengendalian kualitas pada praktik nyata, khususnya pada proses yang kompleks atau berbasis inspeksi manual, sering dihadapkan pada data yang tidak lengkap, ambigu, atau saling bertentangan. Situasi tersebut tidak dapat dimodelkan secara memadai menggunakan pendekatan *fuzzy* karena ketidakpastian yang muncul tidak hanya berkaitan dengan tingkat keanggotaan, tetapi juga dengan ketidaktentuan informasi itu sendiri.

Pendekatan yang lebih menyeluruh untuk memodelkan kondisi tersebut diperkenalkan melalui *Neutrosophic Statistics*, yaitu pengembangan statistik yang memasukkan unsur ketidakpastian ke dalam pemodelan probabilistik (Wibawati dkk., 2022). Kerangka *neutrosophic* memungkinkan pemisahan unsur kebenaran, ketidakpastian, dan kesalahan secara independen sehingga memberikan representasi ketidakpastian yang lebih realistis. Representasi ketidakpastian dalam pendekatan ini tidak harus diterapkan pada data pengamatan, tetapi dapat dimodelkan melalui parameter proses atau batas keputusan yang digunakan dalam pemantauan. Relevansi peta kendali *neutrosophic* pada kondisi data yang tidak lengkap dan ambigu juga telah ditunjukkan dalam pengembangan peta kendali untuk data *neutrosophic* (Aslam, 2019).

Proses pelayanan dan pencatatan data kunjungan pelanggan dalam praktiknya mengandung unsur ketidakpastian (indeterminasi). Ketidakpastian tersebut dapat muncul akibat perbedaan antara jumlah kunjungan yang benar-benar dilayani dengan jumlah yang terekam dalam sistem, gangguan jaringan, maupun kesalahan manusia pada proses pencatatan. Kondisi ini menyebabkan parameter proses, khususnya peluang keberhasilan pencatatan layanan, tidak dapat ditentukan secara pasti. Meskipun data pengamatan tetap terekam sebagai nilai tunggal, ketidakpastian tersebut memengaruhi penentuan batas kendali yang digunakan dalam pengambilan keputusan pemantauan kestabilan proses.

Salah satu pendekatan yang dikembangkan untuk mengakomodasi kondisi tersebut adalah *Neutrosophic Binomial Distribution* (NBD), yaitu perluasan distribusi

binomial klasik dengan memasukkan unsur indeterminasi pada parameter proses (Aslam, 2025). Penerapan konsep *neutrosophic* pada peta kendali atribut, khususnya melalui pembentukan batas kendali berbasis NBD, masih relatif terbatas terutama pada konteks layanan pelanggan telekomunikasi. Penelitian ini menerapkan konsep *Neutrosophic Binomial Distribution* pada pembentukan batas kendali peta kendali atribut untuk memantau kestabilan proses pelayanan di GraPARI Telkomsel. Pendekatan tersebut diharapkan mampu menghasilkan sinyal kestabilan proses yang lebih realistis dengan mempertimbangkan ketidakpastian parameter serta mendukung evaluasi dan perbaikan berkelanjutan dalam peningkatan kualitas layanan pelanggan.

Kestabilan proses pelayanan pada GraPARI Telkomsel sebagai pusat layanan pelanggan dapat diamati melalui data kunjungan pelanggan yang datang dan dilayani pada setiap periode. Performa pelayanan dalam penelitian ini direpresentasikan melalui jumlah kunjungan pelanggan yang dilayani serta jumlah kunjungan yang dilayani dan terekam dalam sistem. Kedua indikator tersebut mencerminkan efektivitas proses pelayanan yang mencakup sistem antrean, ketepatan alur pelayanan, dan pemanfaatan sumber daya operasional.

## 1.2 Batasan Masalah

Berikut adalah Batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Telkom Indonesia, yaitu data kunjungan GraPARI Mall Panakukang Makasaar periode maret - november 2025.
2. Penelitian ini hanya fokus pada penerapan peta kendali *neutrosophic binomial distribution* dengan menggunakan  $I_N \in [0; 0,001]$ ,  $I_N \in [0; 0,003]$ ,  $I_N \in [0; 0,006]$ ,  $I_N \in [0; 0,01]$ ,  $I_N \in [0; 0,03]$ ,  $I_N \in [0; 0,06]$ , dan  $I_N \in [0; 0,1]$

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membentuk peta kendali *neutrosophic binomial distribution*.
2. Menerapkan peta kendali *neutrosophic binomial distribution* pada data kunjungan GraPARI Mall Panakukang Makassar.
3. Mengevaluasi kinerja peta kendali atribut berbasis *neutrosophic binomial distribution* (NBD) melalui nilai *Average Run Length* (ARL).

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pengendalian kualitas statistik dengan pendekatan distribusi binomial pada peta kendali *neutrosophic*. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, peneliti, maupun praktisi dalam menerapkan peta kendali *neutrosophic negative binomial distribution*.

## 1.5 Teori Pendukung

### 1.5.1 Pengendalian Kualitas Statistik

*Statistical Quality Control* (SPC) adalah metode pengendalian mutu berbasis statistika yang dilakukan dengan cara mengawasi serta mengendalikan proses produksi. Pengendalian kualitas penting diterapkan agar produk atau jasa yang dihasilkan tetap memenuhi standar yang telah ditetapkan. Upaya ini bertujuan menekan variasi maupun kesalahan dalam proses sehingga hasil akhir tidak menyimpang dari harapan atau kebutuhan konsumen.

Salah satu perangkat dalam SPC ialah peta kendali. Peta kendali digunakan untuk menilai apakah suatu proses berada dalam kondisi stabil secara statistik. Selain itu, peta kendali membantu membedakan variasi yang muncul karena sebab umum (*common cause*) dan variasi akibat sebab khusus (*assignable cause*). Variasi sebab khusus umumnya ditunjukkan oleh titik pengamatan yang berada di luar batas kendali, sedangkan variasi sebab umum masih berada di dalam batas kendali (Dewiantari dkk., 2019).

### 1.5.2 Konsep *Neutrosophic*

Konsep *neutrosophic* pertama kali diperkenalkan oleh Florentin Smarandache pada tahun 1996 sebagai pendekatan dalam menangani ketidakpastian, ketidaktepatan, dan informasi yang tidak lengkap pada data. Berbeda dengan logika *fuzzy* yang memerlukan fungsi keanggotaan, logika *neutrosophic* bekerja langsung dengan dua batas nilai yaitu batas bawah (*lower*) dan batas atas (*upper*), sehingga setiap nilai dapat direpresentasikan sebagai suatu interval ketidakpastian (Aslam dkk., 2018). Suatu bilangan *neutrosophic* berbentuk  $N = d + i$ , di mana  $d$  merupakan nilai deterministik dan  $i$  merupakan komponen indeterminasi yang berada pada suatu interval tertentu. Misalnya, ketika diberikan  $N = 5 + i$ , dengan nilai  $i \in [0, 0.4]$  maka nilai  $N \in [5, 5.4]$  (Smarandache, 2014). Dalam konteks data, setiap pengamatan *neutrosophic* direpresentasikan sebagai  $x_N \in [x_L, x_U]$  yang menunjukkan bahwa nilai sebenarnya berada dalam rentang batas bawah  $x_L$  dan batas atas  $x_U$ .

Konsep variabel acak *neutrosophic* diperkenalkan oleh Granados (2022) melalui bentuk  $X_N = X(1 + I_N)$ , di mana  $X$  sebagai variabel acak klasik, sedangkan  $I_N \in [I_L, I_U]$  menyatakan derajat indeterminasi. Ketika batas bawah indeterminasi bernilai nol, yaitu  $I_L = 0$ , maka variabel acak *neutrosophic* akan kembali menjadi variabel acak klasik tanpa ketidakpastian tambahan. Berdasarkan formulasi tersebut, nilai harapan variabel acak *neutrosophic* menjadi  $E(X_N) = \mu_X(1 + I_N)$  yang menunjukkan bahwa indeterminasi menaikkan ekspektasi secara proporsional terhadap nilai deterministiknya. Sementara itu, variansnya dinyatakan  $Var(X_N) = (1 + I_N)^2 \sigma_X^2$  yang berarti bahwa peningkatan ketidakpastian memperbesar penyebaran nilai variabel acak tersebut.

Adapun untuk data *neutrosophic*,  $n_N \in [n_L, n_U]$  merupakan sampel acak neutrosophic yang diperoleh dari populasi berukuran  $N_N$  dengan pengamatan yang tidak pasti, maka rata-rata dan simpangan baku populasi *neutrosophic* didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu_N \in \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_L} X_L}{N_L}, \frac{\sum_{i=1}^{N_U} X_U}{N_U} \right]; \mu_N \in [\mu_L, \mu_U] \quad (1)$$

$$\sigma_N \in \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_L} (X_L - \mu_L)^2}{n_L}}, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_U} (X_U - \mu_U)^2}{n_U}} \right]; \sigma_N \in [\sigma_L; \sigma_U] \quad (2)$$

Ketika  $\mu_N \in [\mu_L, \mu_U]$  dan  $\sigma_N \in [\sigma_L; \sigma_U]$  tidak diketahui maka dapat diestimasi menggunakan informasi sampel dan untuk rata-rata serta standar deviasi *neutrosophic* yang didefinisikan pada persamaan berikut:

$$\bar{X}_N \in \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_L} \bar{X}_L}{n_L}, \frac{\sum_{i=1}^{N_U} \bar{X}_U}{n_U} \right]; \bar{X}_N \in [\bar{X}_L, \bar{X}_U] \quad (3)$$

$$S_N \in \left[ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_L} (X_L - \bar{X}_L)^2}{n_L - 1}}, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_U} (X_U - \bar{X}_U)^2}{n_U - 1}} \right] S_N \in [S_L; S_U] \quad (4)$$

Dengan  $X_L$  adalah data lower,  $X_U$  adalah data upper,  $\mu_N$  adalah rata-rata dari *neutrosophic*,  $\sigma_N$  adalah standar deviasi populasi *neutrosophic*,  $n$  adalah jumlah sampel, dan  $S_N$  adalah standar deviasi sampel populasi *neutrosophic*.

### 1.5.3 Distribusi Binomial

Distribusi binomial merupakan distribusi probabilitas yang digunakan ketika proses sampling mengikuti proses Bernoulli, yakni percobaan yang diulang sebanyak  $n$  kali, saling bebas, hanya memiliki dua kemungkinan hasil, serta peluang suksesnya konstan sebesar  $p$  pada setiap ulangan (Walpole, 1995). Percobaan Bernoulli dalam penelitian ini dipahami sebagai serangkaian usaha yang diulang sebanyak  $n$  kali dan saling bebas, di mana peluang sukses pada setiap usaha adalah konstan sebesar  $p$  (Syaifudin & Choiruddin, 2021). Jumlah keberhasilan yang muncul dari  $n$  percobaan tersebut dinyatakan sebagai peubah acak binomial  $X$ , sehingga  $X$  mengikuti distribusi binomial yang secara notasi ditulis  $X \sim \text{Binomial}(n, p)$  atau  $b(x; n, p)$ . Adapun fungsi peluang distribusi binomial untuk memperoleh tepat  $x$  keberhasilan dari  $n$  percobaan dirumuskan sebagai:

$$f_X(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

dengan  $\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$ ,  $p$  menyatakan peluang keberhasilan pada setiap percobaan, dan  $(1-p)$  menyatakan peluang kegagalan. Nilai harapan dari distribusi binomial didefinisikan sebagai:

$$E(X) = \sum_{x=0}^n x f_X(x)$$

$$E(X) = \sum_{x=0}^n x \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$$

selanjutnya digunakan identitas kombinatorial  $x \binom{n}{x} = n \binom{n-1}{x-1}$  sehingga,

$$E(X) = \sum_{x=0}^n n \binom{n-1}{x-1} p^x (1-p)^{n-x}$$

$$E(X) = \sum_{x=1}^n n \binom{n-1}{x-1} p \cdot p^{x-1} (1-p)^{(n-1)-(x-1)}$$

$$E(X) = np \sum_{x=1}^n \binom{n-1}{x-1} p^{x-1} (1-p)^{(n-1)-(x-1)}$$

misalkan  $k = x - 1$ , maka batas penjumlahan berubah dari  $k = 0$  hingga  $k = n - 1$ , sehingga

$$E(X) = np \sum_{k=0}^{n-1} \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{(n-1)-k}$$

berdasarkan sifat distribusi binomial bahwa  $\sum_{k=0}^{n-1} \binom{n-1}{k} p^k (1-p)^{(n-1)-k} = 1$ , maka diperoleh:

$$E(X) = np \tag{6}$$

selanjutnya, varians dari distribusi binomial didefinisikan sebagai:

$$Var(X) = E(X^2) - [E(X)]^2$$

adapun nilai  $E(X^2)$  diperoleh dengan cara berikut:

$$\begin{aligned}
 E(X^2) &= \sum_{x=0}^n x^2 f_X(x) \\
 E(X^2) &= \sum_{x=1}^n x^2 \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\
 E(X^2) &= \sum_{x=0}^n x(x-1) \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} + \sum_{x=0}^n x \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}
 \end{aligned}$$

dengan menggunakan identitas  $x(x-1)\binom{n}{x} = n(n-1)\binom{n-2}{x-2}$  maka diperoleh

$$\begin{aligned}
 E(X^2) &= n(n-1)p^2 \sum_{x=2}^n \binom{n-2}{x-2} p^{x-2} (1-p)^{(n-2)-(x-2)} + np \\
 E(X^2) &= n(n-1)p^2 + np
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai varians dari distribusi binomial sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Var(X) &= E(X^2) - [E(X)]^2 \\
 Var(X) &= [n(n-1)p^2 + np] - (np)^2 \\
 Var(X) &= np(1-p)
 \end{aligned} \tag{7}$$

#### 1.5.4 Konsep Neutrosophic Binomial Distribution

*Neutrosophic binomial distribution* merupakan pengembangan dari distribusi binomial klasik dengan memasukkan unsur ketidakpastian melalui parameter indeterminasi  $I_N$ . Pada distribusi binomial klasik, variabel acak  $X$  mengikuti distribusi binomial dengan parameter  $n$  dan  $p$ , serta memiliki fungsi peluang  $f_X(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$  untuk  $x = 0, 1, 2, \dots, n$ . Menurut Granados (2022), distribusi binomial neutrosophic diperoleh dengan memperluas variabel acak binomial klasik melalui faktor indeterminasi dalam bentuk multiplikatif, sehingga variabel acak neutrosophic dinyatakan sebagai  $X_N = X(1 + I_N)$ , dengan  $I_N$  merupakan parameter indeterminasi yang berada dalam suatu interval  $I_N \in [I_L, I_U]$  dan merepresentasikan derajat ketidakpastian struktural pada data.

Berbeda dengan distribusi binomial klasik yang bersifat deterministik terhadap parameter-parameternya, distribusi binomial neutrosophic memungkinkan adanya variasi nilai yang diakibatkan oleh unsur ketidakpastian dalam proses pengamatan. Dengan demikian, nilai variabel acak tidak lagi dinyatakan sebagai satu nilai pasti, tetapi sebagai nilai yang dipengaruhi oleh komponen indeterminasi. Secara konseptual, parameter indeterminasi  $I_N$  merepresentasikan tingkat ketidakpastian yang dapat muncul akibat keterbatasan informasi, kesalahan pencatatan, maupun

variabilitas proses yang tidak sepenuhnya dapat diamati. Oleh karena itu, nilai  $I_N$  dinyatakan dalam bentuk interval  $[I_L, I_U]$  sehingga distribusi yang dihasilkan dapat menggambarkan rentang kemungkinan nilai yang mungkin terjadi dalam kondisi ketidakpastian.

Granados (2022) menunjukkan bahwa fungsi peluang distribusi binomial neutrosophic dapat diturunkan dari distribusi binomial klasik melalui transformasi variabel acak yang melibatkan faktor indeterminasi:

$$X = \frac{X_N}{1 + I_N} \quad (8)$$

Berdasarkan hubungan tersebut, fungsi probabilitas distribusi binomial neutrosophic dapat dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} f_{X_N}(x_N) &= \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ f_{X_N}(x_N) &= \left( \frac{\binom{n}{x_N}}{1 + I_N} \right) p^{\frac{x_N}{1+I_N}} (1-p)^{n - \left(\frac{x_N}{1+I_N}\right)} \end{aligned} \quad (9)$$

dengan  $x_N \in \{0, (1 + I_N), 2(1 + I_N), \dots, n(1 + I_N)\}$ . Fungsi probabilitas ini terbukti memenuhi sifat distribusi peluang diskrit, yaitu  $\sum f(x_N) = 1$ . Diketahui bahwa  $X_N$  merupakan variabel acak diskrit, maka nilai harapannya didefinisikan sebagai

$$\begin{aligned} E(X_N) &= \sum x_N f_{X_N}(x_N) \\ E(X_N) &= \sum_{x=0}^n x_N \left( \frac{\binom{n}{x_N}}{1 + I_N} \right) p^{\frac{x_N}{1+I_N}} (1-p)^{n - \left(\frac{x_N}{1+I_N}\right)} \\ E(X_N) &= \sum_{x=0}^n x(1 + I_N) \left( \frac{\binom{n}{x(1+I_N)}}{1 + I_N} \right) p^{\frac{x(1+I_N)}{1+I_N}} (1-p)^{n - \left(\frac{x(1+I_N)}{1+I_N}\right)} \\ E(X_N) &= \sum_{x=0}^n x(1 + I_N) \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ E(X_N) &= (1 + I_N) \sum_{x=0}^n x \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ E(X_N) &= np(1 + I_N) \end{aligned} \quad (10)$$

Sedangkan variansinya yaitu,

$$\begin{aligned} \text{Var}(X_N) &= \text{Var}(X(1 + I_N)) \\ \text{Var}(X_N) &= (1 + I_N)^2 \text{Var}(X) \\ \text{Var}(X_N) &= npq(1 + I_N)^2 \end{aligned} \tag{11}$$

Dengan demikian, *neutrosophic binomial distribution* dapat dipandang sebagai generalisasi dari distribusi binomial klasik yang memungkinkan analisis probabilistik pada data yang mengandung ketidakpastian struktural. Apabila nilai indeterminasi bagian bawah memenuhi  $I_L = 0$ , maka distribusi binomial neutrosophic akan kembali menjadi distribusi binomial klasik sebagaimana dijelaskan oleh Granados (2022).

### 1.5.5 Peta Kendali *Neutrosophic Binomial Distribution*

Peta Kendali *Neutrosophic Binomial Distribution* (PK-NBD) merupakan peta kendali atribut yang dikembangkan berdasarkan karakteristik Neutrosophic Binomial Distribution (NBD) untuk memonitor kestabilan proses pada data diskrit yang mengandung unsur indeterminasi. Berbeda dengan peta kendali binomial klasik yang mengasumsikan parameter peluang bersifat pasti, PK-NBD mengakomodasi adanya ketidakpastian (*indeterminacy*) melalui parameter neutrosophic yang dinyatakan dalam bentuk interval. Pada penelitian ini, PK-NBD diterapkan dalam konteks pelayanan, khususnya untuk mengamati kestabilan proses pencatatan (*recording*) kunjungan. Dengan demikian, istilah *defect* atau *defective* dalam literatur Statistical Process Control (SPC) diinterpretasikan sebagai ketidaksesuaian atau ketidakakuratan dalam pencatatan kunjungan, bukan sebagai cacat produksi.

Misalkan pada waktu pengamatan ke- $t$ ,  $n_t$  menyatakan jumlah kunjungan yang terjadi pada periode ke- $t$ , dan  $X_{N,t}$  menyatakan jumlah kunjungan yang berhasil terekam pada periode yang sama. Dalam praktiknya, proses pencatatan kunjungan berpotensi mengandung ketidakpastian sehingga jumlah kunjungan yang tercatat tidak selalu dapat diamati secara pasti. Oleh karena itu,  $X_{N,t}$  dimodelkan sebagai variabel acak neutrosophic yang mengandung komponen indeterminasi.

Berdasarkan konsep Neutrosophic Binomial Distribution yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, variabel acak neutrosophic dapat dinyatakan sebagai  $X_{N,t} = X_t(1 + I_N)$ , dengan  $X_t$  merupakan variabel acak binomial klasik dan  $I_N$  menyatakan tingkat indeterminasi yang berada pada interval  $I_N \in [I_L, I_U]$ . Dengan demikian, variabel acak  $X_{N,t}$  mengikuti distribusi binomial neutrosophic dengan parameter ukuran sampel  $n_t$  dan probabilitas kejadian  $p$ , yang dapat dinyatakan sebagai  $X_{N,t} \sim NB(n_t, p)$ . Parameter probabilitas neutrosophic  $p_N$  berada pada interval terbuka  $0 < p_N < 1$ . Pembatasan ini diperlukan agar distribusi tetap memenuhi sifat stokastik binomial, khususnya agar variansi tidak bernilai nol dan fungsi probabilitas tetap terdefinisi secara matematis. Nilai  $p_N = 1$  menyebabkan variansi sama dengan nol sehingga distribusi menjadi deterministik dan tidak lagi memenuhi asumsi dasar distribusi binomial maupun neutrosophic binomial.

Berdasarkan definisi tersebut, nilai harapan dari variabel acak neutrosophic  $X_{N,t}$  diperoleh sebagai :

$$E(X_{N,t}) = n_t p(1 + I_N) \quad (12)$$

$$\text{Var}(X_{N,t}) = n_t p q(1 + I_N)^2 \quad (13)$$

Selanjutnya, estimasi proporsi *neutrosophic* pada periode ke- $t$  didefinisikan sebagai

$$\begin{aligned} \hat{p}_{N,t} &= \frac{X_{N,t}}{n_{N,t}} \\ \hat{p}_{N,t} &= \frac{X_t(1 + I_N)}{n_t(1 + I_N)} \end{aligned} \quad (14)$$

Penulisan ini digunakan untuk memastikan bahwa estimasi proporsi tetap berada pada interval probabilitas  $0 \leq \hat{p}_{N,t} \leq 1$  sesuai dengan asumsi distribusi binomial, meskipun terdapat unsur ketidakpastian dalam proses pengamatan. Berdasarkan nilai harapan dan varians tersebut, maka garis tengah serta batas kendali pada Peta Kendali *Neutrosophic Binomial Distribution* (PK-NBD) dapat ditentukan sebagai berikut:

Garis Tengah (*Center Line*):

$$\mu_{\hat{p},t} = E(\hat{p}_{N,t}) = p(1 + I_N) \quad (15)$$

Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit*):

$$LCL_{N,t} = p(1 + I_N) - L \sqrt{\frac{pq}{n_t}} (1 + I_N) \quad (16)$$

Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit*):

$$UCL_{N,t} = p(1 + I_N) + L \sqrt{\frac{pq}{n_t}} (1 + I_N) \quad (17)$$

### 1.5.6 Average Run Length

*Average Run Length* (ARL) didefinisikan sebagai banyaknya titik sampel yang secara ekspektasi diamati hingga peta kendali memberikan sinyal pertama, baik ketika proses berada dalam kondisi terkendali (*in-control*) maupun saat terjadi pergeseran proses (*out-of-control*). Nilai ARL yang besar pada kondisi *in-control* menunjukkan bahwa peta kendali relatif jarang menghasilkan alarm palsu. Sebaliknya, nilai ARL yang kecil pada kondisi *out-of-control* menandakan kemampuan peta kendali dalam mendeteksi pergeseran proses secara cepat. Secara matematis, jika  $P(\text{sinyal})$

menyatakan peluang peta kendali menghasilkan sinyal pada satu titik pengamatan, maka ARL dirumuskan sebagai:

$$ARL = \frac{1}{P(\text{sinyal})} \quad (18)$$

Pada kondisi *in-control*, peluang sinyal dinyatakan sebagai  $\alpha = P(\text{sinyal} \mid \text{In-control})$ , sehingga:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad (19)$$

Pada kondisi *out-of-control*, peluang tidak memberikan sinyal dinyatakan sebagai  $\beta = P(\text{tidak sinyal} \mid \text{out-of-control})$ , sehingga peluang memberikan sinyal adalah  $(1-\beta)$ . Dengan demikian:

$$ARL_1 = \frac{1}{1-\beta} \quad (20)$$

dengan  $\alpha$  merupakan kesalahan tipe I dan  $\beta$  merupakan kesalahan tipe II.

### 1.5.7 GraPARI

GraPARI merupakan pusat layanan resmi Telkomsel yang berfungsi melayani kebutuhan pelanggan terkait produk dan layanan, seperti penggantian kartu, aktivasi layanan, pembayaran tagihan, serta penanganan keluhan pelanggan. GraPARI Mall Panakkukang Makassar menjadi salah satu titik layanan yang melayani pelanggan secara langsung, sehingga aktivitas pelayanan dapat diamati melalui data kunjungan pelanggan pada setiap periode.

Pada penelitian ini, kinerja pelayanan direpresentasikan melalui dua indikator, yaitu jumlah kunjungan yang dilayani dan jumlah kunjungan yang dilayani serta terekam (*recorded*) dalam sistem. Pencatatan kunjungan merupakan bagian dari proses operasional untuk dokumentasi dan evaluasi layanan. Ketidaksesuaian pencatatan dapat terjadi ketika kunjungan yang telah dilayani tidak terekam secara sempurna akibat gangguan jaringan, kendala pengunggahan ke sistem berbasis web, atau human error. Kondisi tersebut menimbulkan selisih antara kunjungan yang dilayani dan kunjungan yang terekam, sehingga data mengandung unsur ketidakpastian yang relevan untuk dianalisis pada proses pemantauan kestabilan pelayanan.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang bersumber dari PT Telkom Indonesia. Data tersebut berupa jumlah kunjungan pelanggan yang dilayani serta yang terekam (*recorded*) di GraPARI Mall Panakkukang Makassar pada setiap minggu selama periode Maret hingga November 2025, sehingga diperoleh total 36 pengamatan.

### 2.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang akan digunakan pada studi kasus untuk penelitian ini adalah:

$X_{N,t}$  : Kunjungan yang terekam

$n_t$  : Kunjungan yang dilayani

### 2.3 Metode Analisis

Langkah-langkah analisis data dalam penelitian ini disusun berdasarkan karakteristik *Neutrosophic Binomial Distribution* (NBD), pembentukan peta kendali atribut berbasis NBD, serta evaluasi kinerja peta kendali menggunakan *Average Run Length* (ARL). Tahapan analisis data dijelaskan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data dan penentuan variabel penelitian.  
Data diperoleh dari sistem pelayanan GraPARI Telkomsel berupa data atribut pada setiap periode pengamatan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:
  - $X_{N,t}$  : Jumlah kunjungan pelanggan yang terekam pada periode ke- $t$
  - $n_t$  : Jumlah kunjungan pelanggan yang dilayani pada periode ke- $t$ , dengan ukuran sampel yang dapat berbeda untuk setiap periode
  - $\hat{p}_{N,t}$  : Proporsi kunjungan yang terekam *neutrosophic* pada periode ke- $t$
2. Perhitungan proporsi kunjungan terekam *neutrosophic*.  
Proporsi kunjungan yang terekam pada setiap periode dihitung menggunakan persamaan (14). Deret nilai  $\hat{p}_{N,t}$  selanjutnya digunakan sebagai data utama dalam pemantauan kestabilan proses pelayanan.
3. Pembentukan model *neutrosophic binomial distribution*.  
Jumlah kunjungan yang terekam pada setiap periode pengamatan diasumsikan mengikuti *Neutrosophic Binomial Distribution* (NBD). Asumsi ini didasarkan pada karakteristik data yang bersifat atribut dengan dua kemungkinan hasil, yaitu kunjungan yang dilayani dan kunjungan yang terekam. Parameter distribusi NBD ditetapkan

dengan menyatakan peluang keberhasilan pencatatan dalam bentuk *neutrosophic*  $p(1 + I_N)$ , di mana  $I_N = [I_L, I_U]$  merepresentasikan ketidakpastian peluang keberhasilan pencatatan. Selain itu, ukuran sampel  $n_t$  diperbolehkan berbeda pada setiap periode pengamatan untuk mengakomodasi variasi jumlah kunjungan yang dilayani.

4. Penentuan parameter proses *neutrosophic* fase *in-control*.  
Penentuan parameter proses *neutrosophic* dilakukan pada fase *in-control* dengan menggunakan data historis awal. Nilai tengah proses *neutrosophic* ditetapkan berdasarkan nilai Persamaan (12) dan variansinya diperoleh dari Persamaan (13).
5. Pembentukan peta kendali atribut berbasis NBD (PK-NBD).  
Garis tengah, batas kendali bawah, serta batas kendali atas peta kendali NBD diperoleh dari Persamaan (15), Persamaan (16), dan Persamaan (17).
6. Visualisasi peta kendali *neutrosophic binomial distribution*.  
Peta kendali NBD dibangun dengan memplot nilai  $\hat{p}_{N,t}$  terhadap waktu pengamatan. Garis tengah *neutrosophic* serta pita batas kendali atas dan bawah yang berubah mengikuti  $n_t$  ditampilkan untuk setiap periode pengamatan.
7. Penentuan status kestabilan proses.  
Status proses ditentukan berdasarkan aturan sinyal peta kendali atribut. Proses dinyatakan berada dalam kondisi *in-control* apabila nilai  $\hat{p}_{N,t}$  berada di dalam batas kendali. Proses dinyatakan *out-of-control* apabila nilai  $\hat{p}_{N,t}$  berada di luar batas kendali atas atau batas kendali bawah.
8. Evaluasi kinerja peta kendali NBD menggunakan *Average Run Length*.  
Kinerja peta kendali NBD dievaluasi menggunakan ukuran *Average Run Length* (ARL). Pada kondisi *in-control*, nilai ARL dihitung menggunakan Persamaan (19), sedangkan pada kondisi *out-of-control*, nilai ARL dihitung menggunakan Persamaan (20)
9. Penarikan Kesimpulan.

