

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TBC

TBC adalah penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Penyakit ini umumnya menyerang paru-paru (TBC paru), namun juga dapat menyerang organ lain seperti kelenjar getah bening, tulang, ginjal, dan otak (TBC ekstra paru). Penularan TBC terjadi melalui udara, yaitu ketika penderita TBC aktif batuk, bersin, atau berbicara sehingga mengeluarkan droplet yang mengandung bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan terhirup oleh orang lain (WHO, 2023).

TBC masih menjadi salah satu masalah kesehatan masyarakat utama di dunia, terutama di negara berkembang, termasuk Indonesia. Tingginya angka kejadian TBC dipengaruhi oleh faktor kepadatan penduduk, tingkat ekonomi, kondisi lingkungan, serta akses terhadap layanan kesehatan (Kemenkes RI, 2022).

Di Indonesia, TBC merupakan penyakit endemik yang penyebarannya dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kepadatan penduduk, tingkat ekonomi, kualitas lingkungan, serta akses terhadap layanan kesehatan. Perbedaan karakteristik wilayah menyebabkan variasi jumlah kasus TBC antar daerah, baik di tingkat provinsi, kabupaten, maupun kecamatan. Oleh karena itu, kajian TBC pada skala wilayah yang lebih kecil, seperti kecamatan, menjadi penting untuk memperoleh gambaran yang lebih spesifik dan akurat.

Penyebab utama TBC adalah bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, yang termasuk bakteri aerob obligat dan memiliki dinding sel tebal kaya lipid sehingga tahan terhadap asam dan alkohol (*acid-fast bacilli*). Karakteristik ini menyebabkan bakteri TBC mampu bertahan hidup dalam tubuh manusia dalam jangka waktu lama, bahkan dalam kondisi laten tanpa menunjukkan gejala klinis (Jawetz et al., 2016).

Penularan TBC terjadi melalui droplet nuclei di udara. Ketika seseorang dengan TBC paru aktif batuk atau bersin, bakteri akan tersebar ke udara dan dapat terhirup oleh individu sehat. Setelah masuk ke paru-paru, bakteri dapat berkembang biak dan memicu respons imun tubuh. Pada sebagian individu, infeksi dapat

menjadi laten, sedangkan pada individu dengan sistem imun lemah, infeksi dapat berkembang menjadi TBC aktif (CDC, 2021).

Beberapa faktor yang meningkatkan risiko seseorang terinfeksi TBC antara lain: kontak erat dengan penderita TBC aktif, kepadatan hunian dan ventilasi yang buruk, status gizi yang rendah, penyakit peyerta seperti HIV/AIDS dan diabetes, dantingkat sosial ekonomi rendah. Faktor- faktor tersebut berperan penting dalam dinamika penyebaran TBC di suatu wilayah(WHO, 2023).

Salah satu wilayah yang masih menghadapi permasalahan TBC adalah Kecamatan Batipuh Selatan, yang berada di Kabupaten Tanah Datar, Provinsi Sumatera Barat. Kecamatan ini memiliki karakteristik wilayah semi-perdesaan dengan sebaran penduduk yang relatif tidak merata serta keterbatasan akses terhadap fasilitas kesehatan di beberapa nagari. Berdasarkan data dari Puskesmas Malalo, masih ditemukan kasus TBC di Kecamatan Batipuh Selatan dari tahun ke tahun. Hal ini menunjukkan bahwa penularan TBC di wilayah tersebut masih berlangsung dan perlu dianalisis lebih lanjut untuk memahami pola penyebarannya.

Keberadaan kasus TBC di Kecamatan Batipuh Selatan menunjukkan bahwa faktor lingkungan, perilaku masyarakat, serta kepatuhan terhadap pengobatan memiliki peran penting dalam dinamika penyebaran penyakit. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang mampu menggambarkan proses penularan TBC secara kuantitatif. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pemodelan matematika, yang mampu merepresentasikan dinamika penyebaran penyakit berdasarkan interaksi antar kelompok populasi.

Melalui pemodelan matematika penyakit TBC di Kecamatan Batipuh Selatan, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai dinamika jumlah individu rentan, terinfeksi, dalam pengobatan, dan sembuh dari waktu ke waktu. Hasil pemodelan ini diharapkan dapat menjadi dasar analisis lebih lanjut dalam menentukan metode numerik yang paling akurat serta sebagai bahan pertimbangan dalam mendukung upaya pengendalian dan pencegahan penyakit TBC di Kecamatan Batipuh Selatan.

2.2 Persamaan Diferensial

Menurut (Chasnov, 2019) Persamaan Diferensial (PD) adalah suatu persamaan yang berkaitan dengan nilai atau fungsi pada nilai turunannya. persamaan diferensial terdiri dari persamaan biasa untuk fungsi tunggal dan persamaan deferensial parsial untuk fungsi beberapa variabel.

Persamaan diferensial dibagi menjadi beberapa bagian antara lain : persamaan diferensial biasa, persamaan diferensial parsial, dan sistem persamaan differensial .

Berdasarkan (Hurit &Mungkasi,2021), sistem persamaan diferensial dinyatakan sebagai berikut:

$$F(x, y, y', y'', \dots, y^{(n)}) = 0. \quad (2.2.1)$$

Dengan F Adalah fungsi dari variabel bebas x , dan y Adalah variabel bebas terhadap x , dengan $y' = \frac{dy}{dx}$, $y'' = \frac{d^2y}{dx^2}$ dan seterusnya..

Persamaan diferensial dibagi menjadi dua yaitu :

1. Persamaan differensial biasa, yaitu persamaan differensial yang hanya mempunyai satu variabel bebas. Secara umum ditulis:

$$\frac{d^n y}{dx^n} = f(x), \quad (2.2.2)$$

dengan variabel bebas dan y variabel terikat

2. Persamaan diferensial parsial adalah persamaan diferensial yang mempunyai variabel bebas lebih dari satu. Secara umum ditulis:

$$\frac{du}{dx}, \frac{du}{dy}, \frac{du}{dz}, \frac{d^2u}{dx^2}, \frac{d^2u}{dxdy} = F(u_x, u_y, u_z, u_{xx}, u_{yy}). \quad (2.2.3)$$

dengan u variabel terikat dan x, y, z variabel bebas

sistem persamaan differensial Adalah suatu sistem yang memuat n buah persamaan differensial, dengan n buah fungsi yang tidak diketahui. Bentuk umum persamaan diferensial orde n adalah :

$$\frac{dx_i}{dt} f(t, x_i, \dots, x_n); i = i, \dots n. \quad (2.2.4)$$

dengan $\frac{dx_i}{dt}$ merupakan turunan fungsi x , terhadap t , x_i adalah fungsi turunan yang tidak diketahui dari f_i adalah fungsi yang diberikan $n + 1$ variabel.

Persamaan differensial berdasarkan linieritas

1. Persamaan differensial linier

Persamaan differensial dikatakan linier apabila variabel tak bebas dan turunannya muncul secara linier (tidak berpangkat, tidak saling dikalikan).

Berikut rumus umum persamaan differensial orde satu (Boylested & DiPrima, 2017). adalah sebagai berikut ;

$$\frac{dy}{dx} + f(x)y = g(x), \quad (2.2.5)$$

persamaan differensial linier orde ke-n

$$a_n(x) \frac{d^n y}{dx^n} + a_{n-1}(x) \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \dots + a_1(x) \frac{dy}{dx} + a_0(x)y = g(x), \quad (2.2.6)$$

dengan $a_i(x)$ dan $g(x)$ merupakan fungsi dari variabel bebas x .

2. Persamaan differensial nonlinier

Persamaan differensial disebut nonlinier apabila variabel tak bebas atau turunannya muncul dalam bentuk pangkat, hasil kali. Bentuk umum dari persamaan ini adalah (Brauer & Chaves, 2012).

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \quad (2.2.7)$$

dalam pemodelan fenomena nyata seperti dinamika populasi dan penyebaran penyakit, persamaan differensial nonlinier lebih sering digunakan karena mampu mempresentasikan interaksi kompleks antar variabel.

2.3 Model SIR

Model SIR salah satu model matematika paling dasar dan banyak digunakan dalam epidemiologi untuk menggambarkan dinamika penyebaran penyakit menular dalam suatu populasi. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh (Kermack dan McKendrick, 1927) dengan membagi tiga kompartemen utama yaitu, individu rentan(*Susceptible*), individu terinfeksi(*Infected*), dan individu sembuh(*Recovered*). Pada model SIR, populasi diasumsikan tertutup, artinya tidak terjadi migrasi masuk dan keluar populasi selama periode pengamatan. Jumlah populasi total pada waktu t , yang dinotasikan dengan N (Resmawan,2017), merupakan penjumlahan dari tiga kompartemen, yaitu:

$$N(t) = S(t) + I(t) + R(t), \quad (2.3.1)$$

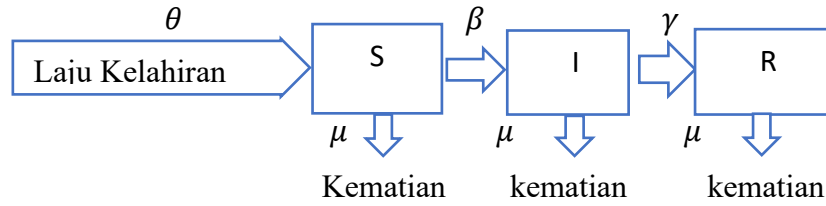
dimana :

- $S(t)$: jumlah individu yang rentan terhadap penyakit
- $I(t)$: jumlah individu yang sedang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit
- $R(t)$: jumlah individu yang telah sembuh dan memiliki kekebalan.

Model SIR dibangun berdasarkan beberapa asumsi, (Resmawan,2017) antara lain:

1. Populasi konstan.
2. Laju kelahiran sama dengan laju kematian
3. Perubahan individu susceptible dan infected proposional terhadap jumlah populasi
4. Individu yang terinfeksi diasumsikan dapat Kembali sembuh dengan peluang konstan sepanjang waktu
5. Diasumsikan juga bahwa sekali seorang individu telah terinfeksi dan kemudian telah pulih, maka individu tersebut tidak akan terjangkit Kembali karena adanya kekebalan sehat yang kuat.

Dari asumsi yang dibangun maka model SIR dinyatakan dalam diagram kompartemen sebagai berikut:



Gambar 2.3.1 Kompartemen SIR

dengan menganggap bahwa Tingkat penularan penyakit sebanding dengan jumlah pertemuan antara individu rentan dan individu yang terinfeksi. Maka model SIR dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{SI}{N} - \mu S, \quad (2.3.2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta \frac{SI}{N} - \gamma I - \mu I, \quad (2.3.3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R, \quad (2.3.4)$$

dimana:

- β : laju penularan penyakit
- γ : laju kesembuhan
- N : jumlah populasi total
- Suku $\beta \frac{SI}{N}$ menggambarkan laju penularan penyakit akibat interaksi antara individu rentan dan individu terinfeksi.

Model SIR merupakan sistem persamaan diferensial nonlinier karena terdapat suku hasil kali antara variabel $S(t)$ dan $I(t)$. Menurut (Hethcote,2000) Nonlinieritas ini mencerminkan bahwa laju penularan penyakit tidak meningkat secara linier terhadap jumlah individu terinfeksi, melainkan bergantung pada interaksi dinamis antara kelompok populasi. Akibat sifat nonlinier tersebut, solusi eksak dari model SIR sulit diperoleh maka dari itu penyelesaian model umumnya dilakukan menggunakan metode numerik.

Model SIR sering digunakan sebagai model dasar dalam studi penyakit menular, termasuk penyakit TBC. Meskipun TBC memiliki karakteristik khusus seperti masa laten dan proses pengobatan yang panjang, model SIR tetap relevan

sebagai pendekatan awal untuk memahami dinamika dasar penyebaran penyakit. Selanjutnya, model ini dapat dikembangkan menjadi model yang lebih kompleks, seperti model SICK, agar lebih sesuai dengan karakteristik penyakit.

2.4 Fitting Curve

Fitting Curve merupakan metode yang digunakan untuk menentukan parameter suatu model matematika dengan menyesuaikan kurva model terhadap data observasi. Dalam pemodelan epidemiologi, parameter model umumnya tidak dapat diukur secara langsung sehingga perlu diestimasi menggunakan pendekatan numerik dan statistik (Chapra & Canale, 2015). Pada umumnya, nilai parameter tidak dapat diukur secara langsung sehingga perlu ditentukan melalui pendekatan matematis menggunakan data kasus penyakit yang tersedia. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan parameter adalah dengan pendekatan diskretisasi terhadap sistem persamaan diferensial model.

Model penyebaran penyakit biasanya dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial yang menggambarkan perubahan jumlah populasi terhadap waktu secara kontinu. Namun, data epidemiologi yang tersedia seringkali berbentuk data diskret, misalnya data tahunan atau bulanan. Oleh karena itu, diperlukan proses diskretisasi untuk mengubah persamaan diferensial menjadi bentuk persamaan diskret.

Diskretisasi dapat dilakukan menggunakan metode selisih hingga (*finite difference*). Pendekatan turunan pertama terhadap waktu dinyatakan sebagai berikut (Chapra & Canale, 2015).

dimana:

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{x_{k+1} - x_k}{\Delta t} \quad (2.4.1)$$

- x_k : nilai variabel pada waktu ke-k
- x_{k+1} : nilai variabel pada waktu ke-(k+1)
- Δt : selang waktu pengamatan

pendekatan ini memungkinkan model diferensial diterapkan pada data yang bersifat diskret.

2.5 Metode Euler

Metode Euler merupakan salah satu metode menyelesaikan persamaan diferensial yang paling sederhana. Metode Euler juga sering disebut sebagai metode orde pertama karena persamaannya hanya mengambil sampai suku orde pertama saja (Geovanny, 2020). suatu persamaan diferensial dinyatakan sebagai

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y), a \leq t \leq b, \quad y(a) = a, \quad (2.5.1)$$

metode Euler diturunkan dari deret Taylor, misalnya fungsi, $y(t)$ adalah fungsi yang kontinu dan memiliki turunan dari interval $[a, b]$, maka deret Taylor;

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + (t_{i+1} - t_i)y'(t_i) + \frac{(t_{i+1} - t_i)^2}{2}y''(\varepsilon_i), \quad (2.5.2)$$

karena $h = (t_{i+1} - t_i)$, jadi

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + hy'(t_i) + \frac{h^2}{2}y''(\varepsilon_i), \quad (2.5.3)$$

karena $y(t)$ memenuhi persamaan diferensial diatas, maka:

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + hf(t_i, y(t_i)) + \frac{h^2}{2}y''(\varepsilon_i), \quad (2.5.4)$$

metode ini dibagun dengan pendekatan $w_i \approx y(t_i)$ untuk $i = 1, 2, 3, \dots, N$, dengan membiarkan suku terakhir yang didapat dari persamaan (2.5.3), maka metode Euler ditulis sebagai:

$$\begin{aligned} w_0 &= a, \\ w_{i+1} &= w_i + h f(t_i, w_i). \end{aligned} \quad (2.5.5)$$

dimana $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$.

Metode Euler digunakan untuk menyelesaikan suatu persamaan nonlinier yang berdasarkan persamaan (2.5.5) jika diberikan sistem persamaan diferensial dengan tiga buah variabel tak bebas seperti berikut :

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, y, z), \quad (2.5.6)$$

$$\frac{dy}{dt} = g(t, x, y, z), \quad (2.5.7)$$

$$\frac{dz}{dt} = h(t, x, y, z), \quad (2.5.8)$$

dengan nilai awal $x(0) = x_0$, $y(0) = y_0$, $z(0) = z_0$ dengan memilih nilai h yang tetap yaitu $h = (t_{i+1} - t_i)$ adalah:

$$x_{i+1} = x_i + h\{f(t_i, x_i, y_i, z_i)\}, \quad (2.5.9)$$

$$y_{i+1} = y_i + h\{g(t_i, x_i, y_i, z_i)\}, \quad (2.5.10)$$

$$z_{i+1} = z_i + h\{h(t_i, x_i, y_i, z_i)\}, \quad (2.5.11)$$

untuk $i = 0, 1, 2, \dots$

2.6 Metode Heun

Metode Heun merupakan salah satu metode numerik eksplisit untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa (PDB) yang dikembangkan oleh Karl Heun. Metode ini dikenal sebagai metode Euler termodifikasi atau metode prediktor–korektor, karena memperbaiki pendekatan metode Euler dengan mempertimbangkan nilai turunan pada awal dan akhir interval. Menurut Chapra dan Canale (2015), metode Heun merupakan metode orde dua yang memberikan akurasi lebih baik dibandingkan metode Euler karena menggunakan rata-rata kemiringan pada setiap langkah. Langkah metode heun terdiri dari dua tahap Diberikan PDB orde satu:

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y), \quad (2.6.1)$$

syarat awal

$$y'(t) = f(y(t), t), \quad (2.6.2)$$

apabila persamaan (2.6.2) kedua ruas diintegrasikan dengan batas batas t_i sampai t_{i+1} dengan $h = t_{i+1} - t_i$ maka dapat diperoleh:

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} y'(t)dt = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt,$$

$$y(t)|_{t_i}^{t_{i+1}} = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt,$$

$$y(t_{i+1}) - y(t_i) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt,$$

$$y_{i+1} - y_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt,$$

$$y_{i+1} = y_i + \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt, \quad (2.6.3)$$

selanjutnya $\int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt$ dapat dicari dengan menggunakan kaidah trapesium, akan diperoleh:

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt = \frac{[f(y_i, t_i) + f(y_{i+1}, t_{i+1})]}{2} (t_{i+1} - t_i). \quad (2.6.4)$$

atau ditulis

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} f(y(t), t)dt = \frac{h}{2} [f(y_i, t_i) + f(y_{i+1}, t_{i+1})], \quad (2.6.5)$$

substitusikan persamaan (2.6.5) ke persamaan (2.6.4) sehingga diperoleh

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f(y_i, t_i) + f(y_{i+1}, t_{i+1})] \quad (2.6.6)$$

dengan y_{i+1} merupakan nilai hampiran sekarang dan y_i adalah nilai hampiran sebelumnya, dengan $i = 0, 1, 2, \dots, n$. Nilai y_{i+1} merupakan solusi perkiraan awal (*predictor*) metode Heun yang dihitung menggunakan metode Euler, Dengan demikian, persamaan Heun dapat dituliskan:

Predictor

$$y_{i+1}^{(0)} = y_i + h f(t_i, y_i). \quad (2.6.7)$$

Corrector

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} \left[f(y_i, t_i) + f(y_{i+1}^{(0)}, t_{i+1}) \right], \quad (2.6.8)$$

dimana;

- h ukuran langkah (step size)
- $y_{n+1}^{(0)}$ nilai prediksi
- y_{n+1} nilai koreksi.

Pendekatan ini setara dengan pendekatan aturan trapesium pada integrasi numerik (Chapra & Canale, 2015). Berdasarkan penjabaran metode Heun diatas, maka jika diberikan sebuah sistem persamaan diferensial orde satu dengan tiga variabel tidak bebas,

$$x'(t) = p(x(t), y(t), z(t), t), \quad (2.6.9)$$

$$y'(t) = q(x(t), y(t), z(t), t), \quad (2.6.10)$$

$$z'(t) = r(x(t), y(t), z(t), t). \quad (2.6.11)$$

nilai awal $x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0$ dengan $h = t_{i+1} - t_i$, maka persamaan metode Heun sistem persamaan tersebut adalah:

Predictor

$$x_{i+1}^{(0)} = x_i + hp(x_i, y_i, z_i, t_i), \quad (2.6.12)$$

$$y_{i+1}^{(0)} = y_i + hq(x_i, y_i, z_i, t_i), \quad (2.6.13)$$

$$z_{i+1}^{(0)} = z_i + hr(x_i, y_i, z_i, t_i). \quad (2.6.14)$$

Corrector

$$x_{i+1} = x_i + \frac{h}{2} \left[p(x_i, y_i, z_i, t_i) + p(x_{i+1}^{(0)}, y_{i+1}^{(0)}, z_{i+1}^{(0)}, t_{i+1}) \right], \quad (2.6.15)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} \left[q(x_i, y_i, z_i, t_i) + q(x_{i+1}^{(0)}, y_{i+1}^{(0)}, z_{i+1}^{(0)}, t_{i+1}) \right], \quad (2.6.16)$$

$$z_{i+1} = z_i + \frac{h}{2} \left[r(x_i, y_i, z_i, t_i) + r(x_{i+1}^{(0)}, y_{i+1}^{(0)}, z_{i+1}^{(0)}, t_{i+1}) \right]. \quad (2.6.17)$$

2.7 Metode Runge- Kutta orde empat

Metode Runge–Kutta merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial biasa karena memiliki tingkat ketelitian tinggi dan tidak memerlukan perhitungan turunan fungsi yang rumit, melainkan menggunakan kombinasi beberapa kemiringan fungsi dalam satu langkah perhitungan (Triatmodjo, 2002).

Diberikan persamaan diferensial biasa orde pertama (Boyce & DiPrima, 2017)

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y), \text{ dengan } y(0) = y_0. \quad (2.7.1)$$

dengan langkah h , solusi pada $t_{i+1} = t_i + h$ didekati dengan empat langkah interval dengan persamaan sebagai berikut:

$$k_1 = f(t_i, y_i), \quad (2.7.2)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_1\right), \quad (2.7.3)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_2\right), \quad (2.7.4)$$

$$k_4 = f(x_i + h, y_i + hk_3), \quad (2.7.5)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4). \quad (2.7.6)$$

2.8 Nilai Galat

Kesalahan (error/galat) adalah besarnya perbedaan atau selisih antara nilai taksiran (hampiran/aproksimasi) dengan nilai sesungguhnya (eksak), kesalahan ini biasa timbul karena proses pengukuran atau penggunaan aproksimasi (Burden & Faires, 2011). Untuk membandingkan ketiga metode numerik, Galat relatif hampiran. Galat menyatakan seberapa akurat solusi hampiran dengan solusi sejati. Semakin kecil galat, maka semakin akurat solusi numerik yang diperoleh (munir, 2010). Ada beberapa macam galat galat dapat dihitung, adalah sebagai berikut:

1. Galat mutlak (*absolute error*)

Galat mutlak adalah selisih antara nilai sebenarnya (nilai eksak) dengan hasil pengukuran atau pendekatan.

Rumus

$$\varepsilon_a = |x - x_a|. \quad (2.8.1)$$

dimana :

- x : nilai sebenarnya
- x_a : nilai pendekatan / hasil pengukuran
- ε_a : galat mutlak

2. Galat relatif (kesalahan relatif eksak)

Galat relatif eksak adalah perbandingan antara nilai galat mutlak dengan nilai sebenarnya.

Rumus

$$\varepsilon_r = \frac{|x - x_a|}{|x|} \quad (2.8.2)$$

dimana:

- x : nilai sebenarnya
- ε_r : galat relatif

3. Galat relatif hampiran (kesalahan rekatif pendekatan/ *aprprixomate Relatife Error*)

Galat relatif hampiran digunakan jika nilai sebenarnya tidak diketahui. Kesalahan dihitung dari perbandingan antara dua nilai pendekatan yang berurutan.

Rumus.

$$\epsilon_{RA} = \frac{x_{r+1} - x_r}{x_{r+1}}. \quad (2.8.3)$$

dimana:

- ϵ_{RA} = galat related hampiran
- a_{r+1} = nilai hampiran iterasi sekarang
- a_r = nilai hampiran iterasi sebelumnya