# Lokalisasi Mobil ESP32 dengan Receive Signal Strength

I Made Medika Surya W.M. (13222021)

Didan Attaric (13222105)

Kelompok 8

# Apa itu RSSI?

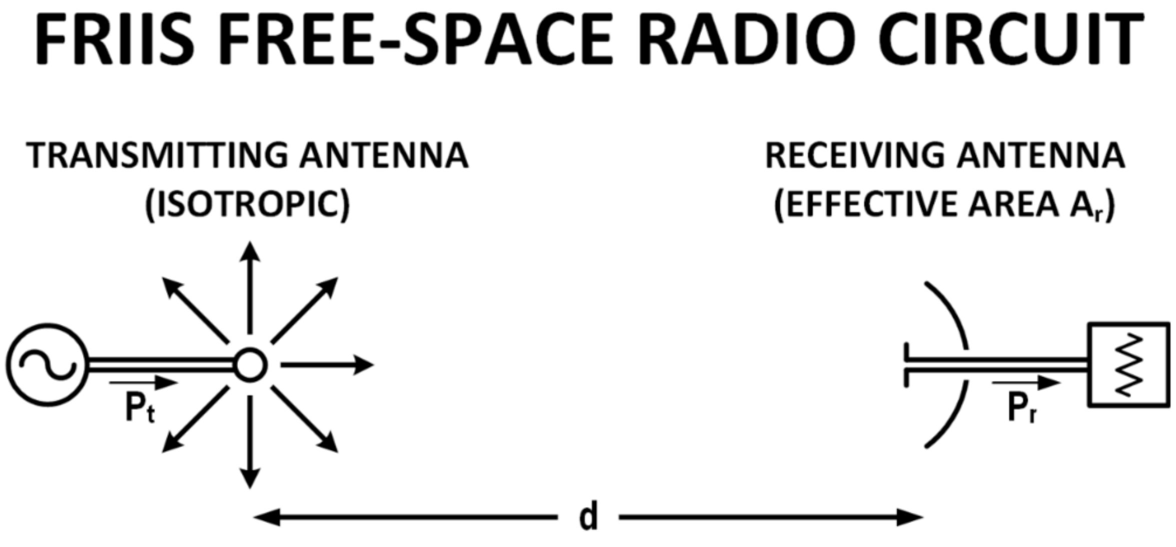
RSSI atau Receive Signal Strength Indicator merupakan satuan yang digunakan dalam mengukur daya yang diterima Rx. Satuannya adalah 1 dBm dibandingkan dengan daya $P_0$ = 1 mW, sehingga:

$$RSSI = 10\log(\frac{P_R}{1mW})$$

$$\boldsymbol{P_R = 1mW \times 10^{\frac{RSSI}{10}}}$$

# Formula Transmisi Antena Friis

Formula *Friis Free – Space Transmisi Antena* adalah formula yang merelasikan daya transmit ($P_T$) dan daya receive ($P_R$) pada suatu Antena. Dalam penurunannya Friis mengasumsikan suatu transmitter isotropic (Daya yang di transmisikan spherical) ke semua antenna Reciever Parabola.



# Penurunan Formula Transmisi Antenna Friis

Dari asumsi tersebut maka intesitas daya rata – rata yang dikirim Transmitter adalah:

$$I_T = \frac{P_T}{4\pi d^2}$$

Daya yang diterima dari Reciever adalah:

$$P_R = I_R A_{efektif}$$

Dalam parabola $A_{efektif} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$ namun dalam kondisi **non ideal** terdapat factor koreksi sehingga $A_{efektif} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$.

# Penurunan Formula Transmisi Antenna Friis

Dari persamaan sebelumnya:

$$P_R = I_R \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

Diasumsikan terdapat *losses* intensitas daya yang ditentukan oleh kondisi lingkungan dan kondisi antena transmitter sehingga $I_R = G_T I_T$.

$$P_R = (G_T I_T) \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

Jika diselesaikan maka didapat:

$$\boldsymbol{P_R = P_T (G_T G_R) \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2}$$

# Relasi RSSI dan Jarak?

Jika formula Friis di susun ulang untuk mencari jarak didapat:

$$d = \left(\frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{P_T(G_T G_R)}\right) P_R^{-\frac{1}{2}}$$

Jika $P_r$ dinyatakan dalam RSSI didapat:

$$d = \left(\frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{0.001P_T(G_T G_R)}\right) \times 10^{-\frac{RSSI}{20}}$$

Untuk mempermudah perhitungan dimisalkan $\mathrm{K} = \frac{\lambda}{4\pi}\sqrt{0.001P_T(G_T G_R)}$

# Relasi RSSI dan Jarak?

Jika dicari fungsi RSS dalam jarak didapat:

$$RSSI = -20\log\left(\frac{d}{K}\right) = -20\log(d) + 20\log(\mathrm{K})$$

Dari persamaan itu jika kita misalkan 20log(K) = C, didapat:

$$\boldsymbol{RSSI = -20\,log(d) + C}$$

Terlihat bahwa dari persamaan tersebut RSS berkolerasi linier dengan log(d) sedangkan **kondisi lingkungan, kondisi receiver, dan transmitter hanya mempengaruhi offset inisial RSSI saat d = 1 m.** Sehingga jika diberikan berapa titik data RSSI dan d, dapat dilakukan regresi untuk mencari C untuk kondisi tertentu.

Namun dalam kenyataan terdapat efek interferensi dan propagasi bahkan pada *free – space* tanpa *obstacle* sehingga formula tersebut dapat digeneralisasi menjadi:

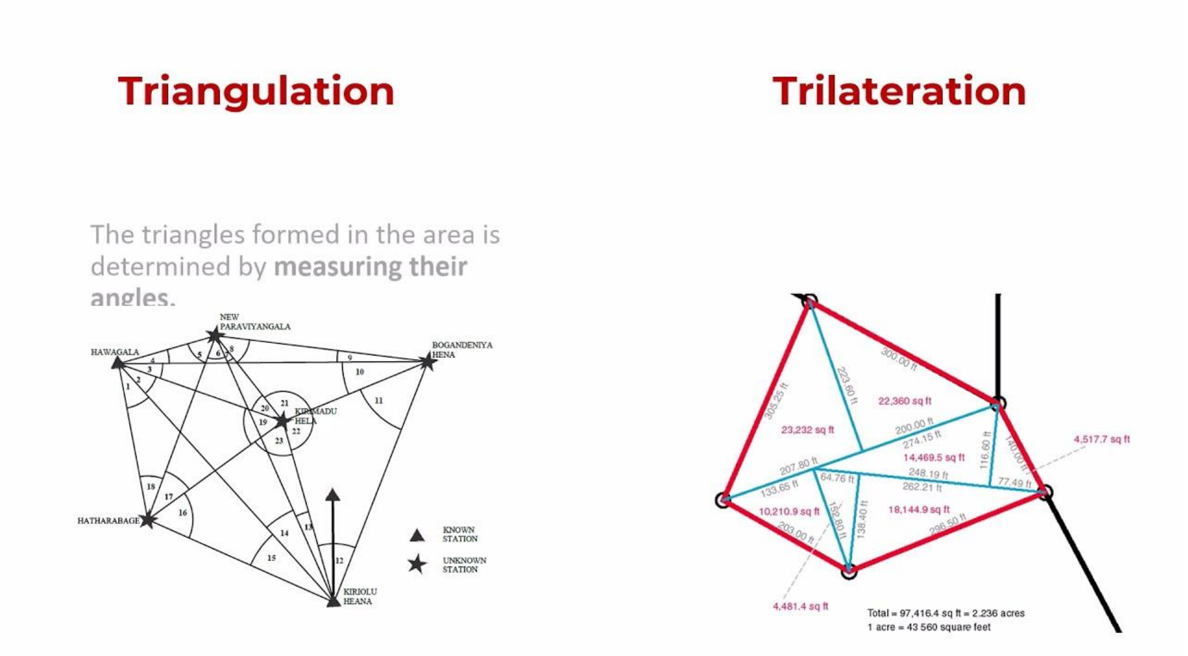
$$\boldsymbol{RSSI = -A\,log(d) + C}$$

Dengan **A = konstanta Atenuasi**, **C = konstanta RSSI** saat jarak **1 meter**

# Bagaimana Cara Melakukan Lokalisasi?

Setelah mendapat jarak dari RSS r*elative* terhadap point 1, 2, dan 3 lokalisasi dapat dilakukan dengan metode trilaterasi (berbeda dengan triangulasi).

Misal diketahui posisi point 1 A($x_1$, $y_1$), point 2 B($x_2$, $y_2$), dan point 3 C($x_3$, $y_3$) dan nilai $d_1$, $d_2$, $d_3$, maka dapat ditentukan T($x_4$, $y_4$).



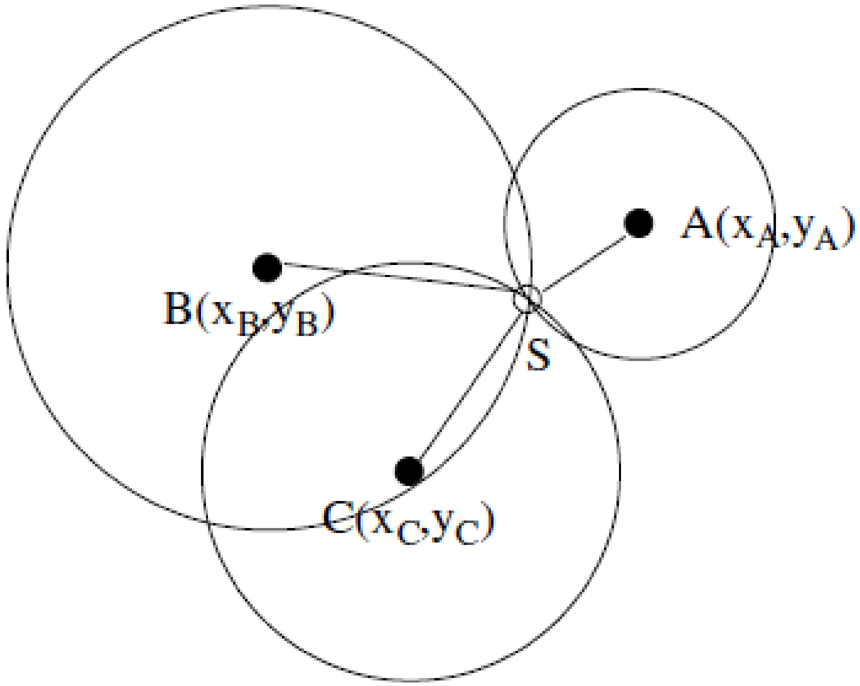
# Lokalisasi dari persamaan Eksak Trilaterasi

- Didapat persamaan:

$$d_1{}^2 = (x_1 - x_4)^2 + (y_1 - y_4)^2$$
$$d_2{}^2 = (x_2 - x_4)^2 + (y_2 - y_4)^2$$
$$d_3{}^2 = (x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2$$

Diperlukan 3 titik agar titik ($x_4$, $y_4$) harus memenuhi persamaan lingkaran A, B, dan C sehingga hanya terdapat 1 kemungkinan solusi titik.

Solusi didapatkan dengan menyelesaikan persamaan d1 – d2, d1 – d3, dan d2 – d3, kemudian mencari solusi dari ketika persamaan kuadrat tersebut yang nilai T($x_4$, $y_4$) sama.



# Lokalisasi dari persamaan Eksak Trilaterasi

- Misal ($x_4$, $y_4$) = (x, y), sehingga:

$$x^2 - 2xx_1 + x_1^2 + y^2 - 2yy_1 + y_1^2 = {d_1}^2$$
$$x^2 - 2xx_2 + x_2^2 + y^2 - 2yy_2 + y_2^2 = {d_2}^2$$
$$x^2 - 2xx_3 + x_3^2 + y^2 - 2yy_3 + y_3^2 = {d_3}^2$$

Jika dilakukan d1 – d2 didapatkan:

$$\mathrm{x}(2x_2 - 2x_1) + \mathrm{y}(2y_2 - 2y_1) = \left({d_1}^2 - {d_2}^2\right) + (x_2^2 - x_1^2) + (y_2^2 - y_1^2)$$

Jika diubah dalam bentuk Ax + By = C didapat:

$$A = 2(x_2 - x_1), B = 2(y_2 - y_1)$$

$$C = \left({d_1}^2 - {d_2}^2\right) + (x_2^2 - x_1^2) + (y_2^2 - y_1^2)$$

# Lokalisasi dari persamaan Eksak Trilaterasi

- Lakukan persamaan d2 – d3, didapat:

$$\mathrm{x}(2x_3 - 2x_2) + \mathrm{y}(2y_3 - 2y_2) = \left({d_2}^2 - {d_3}^2\right) + (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2)$$

Jika diubah dalam bentuk Dx + Ey = F didapat:

$$D = 2(x_3 - x_2), E = 2(y_3 - y_2)$$

$$F = \left({d_2}^2 - {d_3}^2\right) + (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2)$$

# Lokalisasi dari persamaan Eksak Trilaterasi

- Lakukan persamaan d1 – d3, didapat:

$$\mathrm{x}(2x_3 - 2x_1) + \mathrm{y}(2y_3 - 2y_1) = \left({d_1}^2 - {d_3}^2\right) + (x_3^2 - x_2^2) + (y_3^2 - y_2^2)$$

Jika diubah dalam bentuk Gx + Hy = I didapat:

$$G = 2(x_3 - x_1), H = 2(y_3 - y_1)$$

$$I = \left({d_1}^2 - {d_3}^2\right) + (x_3^2 - x_1^2) + (y_3^2 - y_1^2)$$

# Lokalisasi dari persamaan Eksak Trilaterasi

- Jika diubah bentuk Matriks:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ D & E \\ G & H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C \\ F \\ I \end{bmatrix}$$

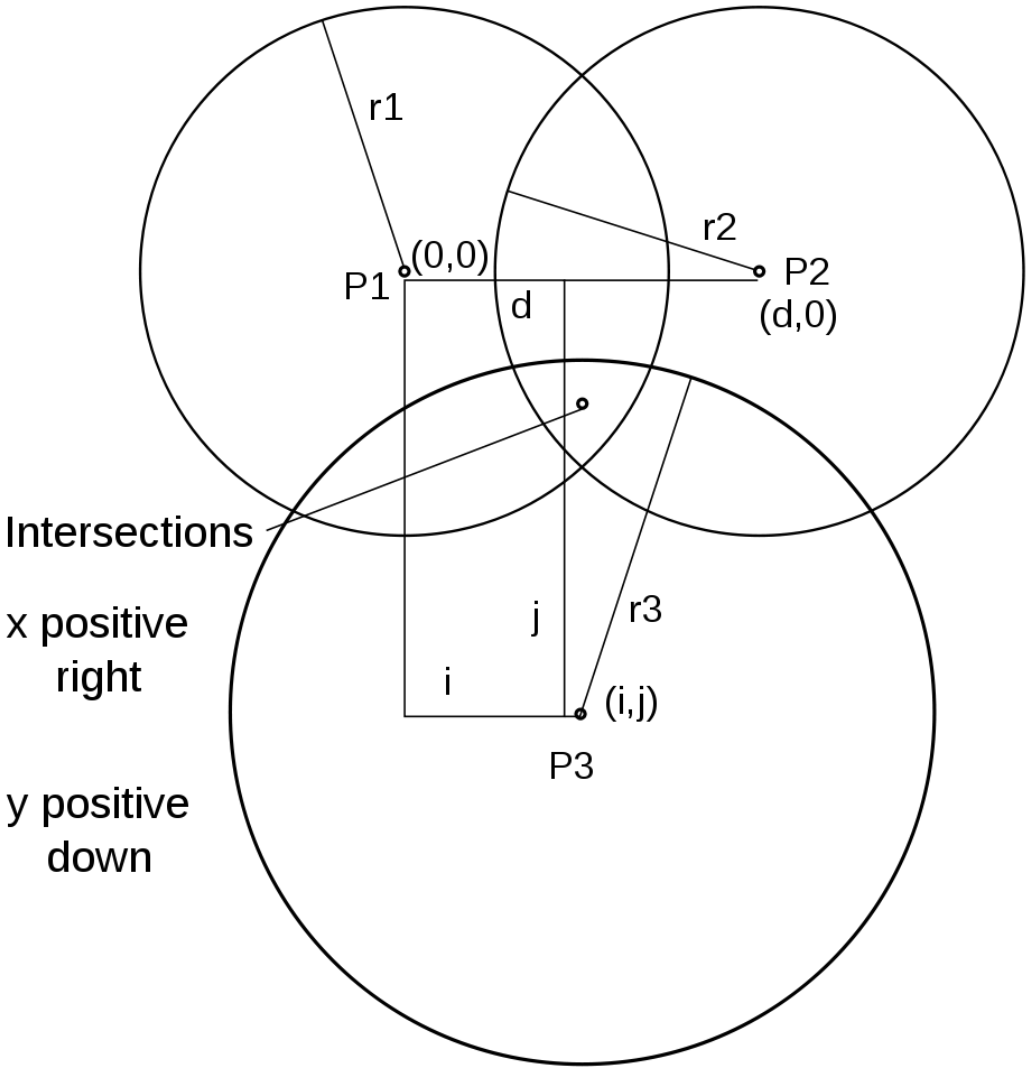
Solusi tersebut benar jika Gx + Hy = I dapat dibentuk dari basis Ax + By = C dan Dx + Ey = I atau sebaliknya, sehingga Gx + Hy = I dapat diabaikan sehingga solusi adalah:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{x} \\ \boldsymbol{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{D} & \boldsymbol{E} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \boldsymbol{C} \\ \boldsymbol{F} \end{bmatrix} \textbf{ atau } \begin{bmatrix} \boldsymbol{x} \\ \boldsymbol{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{D} & \boldsymbol{E} \\ \boldsymbol{G} & \boldsymbol{H} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \boldsymbol{F} \\ \boldsymbol{I} \end{bmatrix} \textbf{ atau } \begin{bmatrix} \boldsymbol{x} \\ \boldsymbol{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{G} & \boldsymbol{H} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \boldsymbol{C} \\ \boldsymbol{I} \end{bmatrix}$$

# Masalah Trilaterasi Metode Eksak

Jika Persamaan Eksak tersebut diselesaikan sangat mungkin T($x_4$, $y_4$) yang ditemukan mengalami kontradiksi (disebabkan *noise* atau delay)

Misal jika kita menyelesaikan persamaan point 1 dan 2 didapat ($x_4$, $y_4$) = (1, 2) | (-1, -2) sedangkan saat menyelesaikan persamaan 1 dan 3 didapat ($x_4$, $y_4$) = (3, 1) |(-3, -1) sehingga tidak ditemukan 1 titik yang sama.

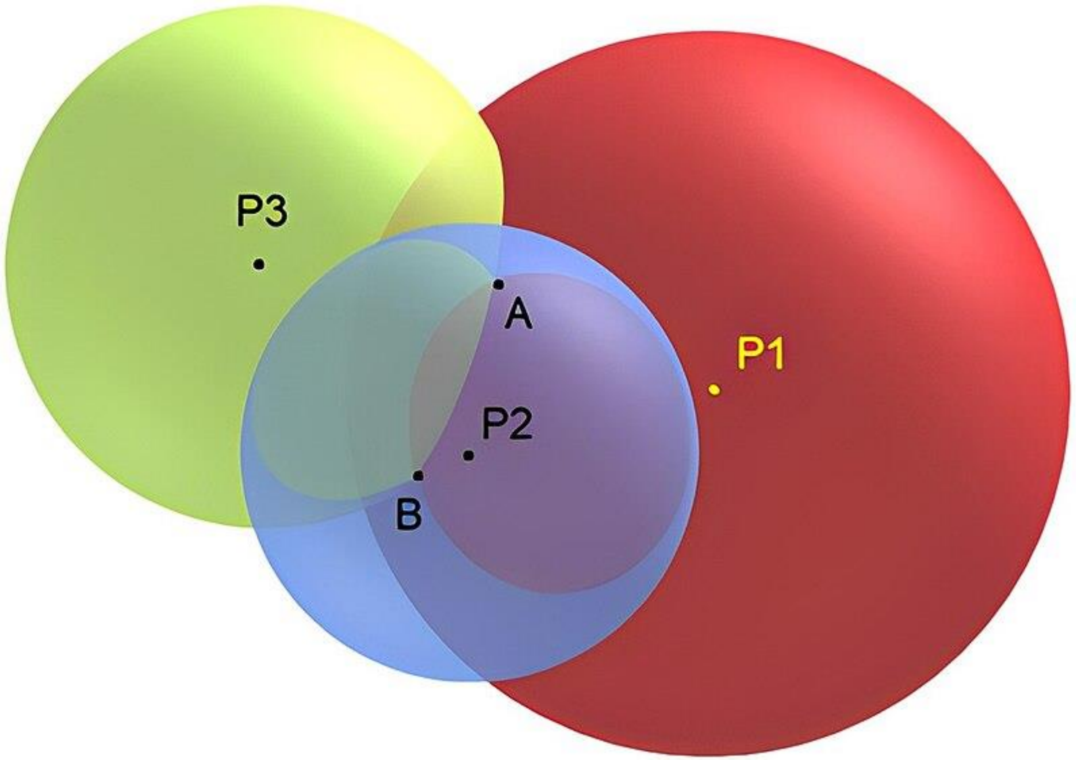


# Ekspansi Dimensi menyelesaikan masalah?

Jika dilakukan metode yang sama didapat:

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ H & I & J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P \\ Q \\ R \end{bmatrix} = \mathrm{A\,u} = \mathrm{p}$$

Ingat bahwa inverse matriks memerlukan det(A), terdapat kemungkinan saat det(A) = 0 menyebabkan solusi x, y, z tak terhingga. Det(A) merupakan sifat dari matriks singular, jika salah satu baris dapat didefinisikan dari kombinasi linier 2 baris lainnya maka (x,y,z) tidak dapat ditemukan.



# Metode Estimasi Masalah Trilaterasi

Dari masalah tersebut, dapat disimpulkan pendekatan eksak dapat menghasilkan solusi yang tidak tepat, sehingga digunakan metode aproksimasi berdasarkan **statistic dan peluang** terdapat beberapa metode:

1. **Metode Mean Square Error (paling sederhana)**
2. Metode Kalman Filter
3. Metode Particle Filter

# Lokalisasi Metode Mean Squared Error

Misal kita memulai dari titik sembarang P(x, y), error P(x,y) untuk setiap titik dapat didefinisikan sebagai:

$$e_1 = d_1 - dist(P, A)$$
$$e_2 = d_2 - dist(P, B)$$
$$e_3 = d_3 - dist(P, C)$$

Saat nilai $e_1$, $e_2$, dan $e_3$ sangat kecil maka dapat disimpulkan nilai $P(x_i,y_i) \approx T(x_4,y_4)$. Agar kontribusi galat dari $e_1$, $e_2$, $e_3$ dapat direpresentasikan ke 1 variabel didefinisikan variabel baru yaitu MSE:

$$MSE = \frac{\sum_{i=0}^{N}\left(d_i - dist(P, L_i)\right)^2}{N}$$

Prinsip kerja metode ini meminimalkan nilai MSE dengan menentukan P(x,y), iterasi akan berhenti ketika **currMSE – prevMSE < tolerance**

Nilai x dan y akan dimodifikasi oleh variabel **step.**

# Lokalisasi MSE Hybrid

- Pilih *good guest* P(x,y) dari metode eksak untuk seed 1, seed 2, atau seed 3 (misal seed 1)
- Minimalisasi nilai MSE misal dengan 10 iterasi kemudian cek apakah currMSE – prevMSE < tolerance, jika terlalu besar maka pilih random seed 2 atau seed 3.
- Ulangi langkah tersebut jika tidak ditemukan nilai < tolerance, maka cari nilai currMSE – prevMSE terkecil dari seed 1, seed 2, seed 3 yang sudah di minimalisasi oleh MSE.

# Referensi


- Engineering Funda. (n.d.). *Friis Transmission Formula (Basics, Formula & Derivation) Explained* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Op7bBz6qbwY&t=424s
- unfaUA. (n.d.). *How GPS works? Trilateration explained* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=4O3ZVHVFhes
- Wikipedia contributors. (n.d.). *Friis transmission equation*. In Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Friis_transmission_equation
- Zucconi, A. (2017, March 13). *Positioning and trilateration*. Retrieved from https://www.alanzucconi.com/2017/03/13/positioning-and-trilateration/