

SIDANG TUGAS AKHIR

DHARMA ARUNG LABY

1111 100 027

Dosen Pembimbing:

1. Prof. Dr. rer. Nat. Bagus Jaya Santosa, SU
2. Sungkono, M.Si

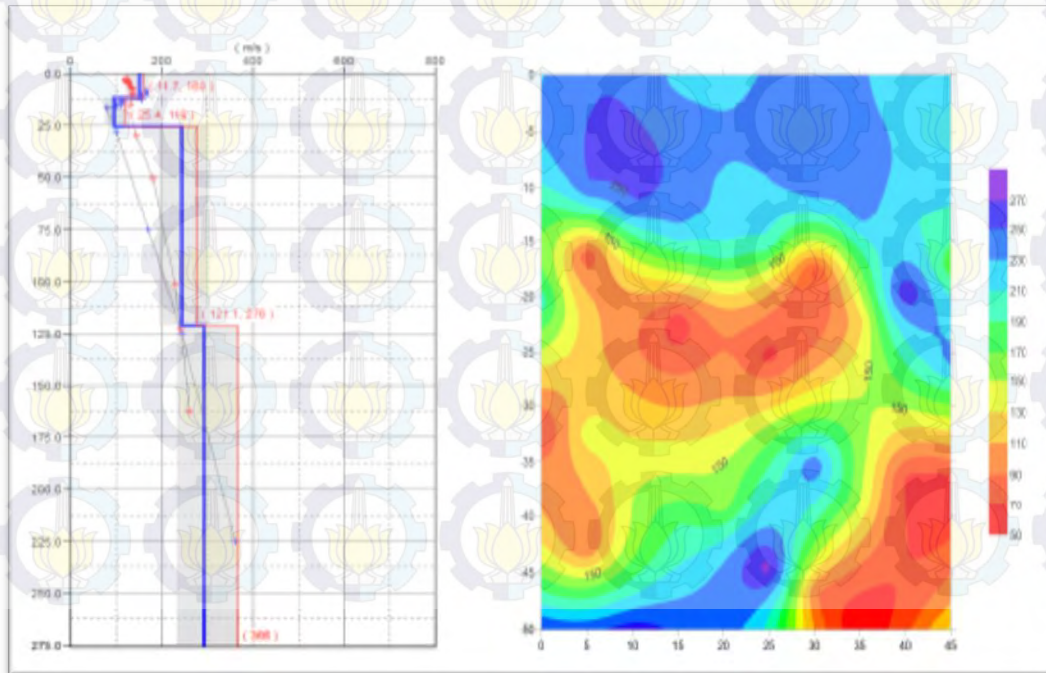
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2016



Pendahuluan

- Parameter V_s dan ρ banyak dimanfaatkan dalam investigasi geoteknik dan studi lingkungan.

Karakterisasi &
Monitoring Tanggul.



Pendahuluan

V_s



representasi dari tingkat
kekakuan/kekerasan.

ρ



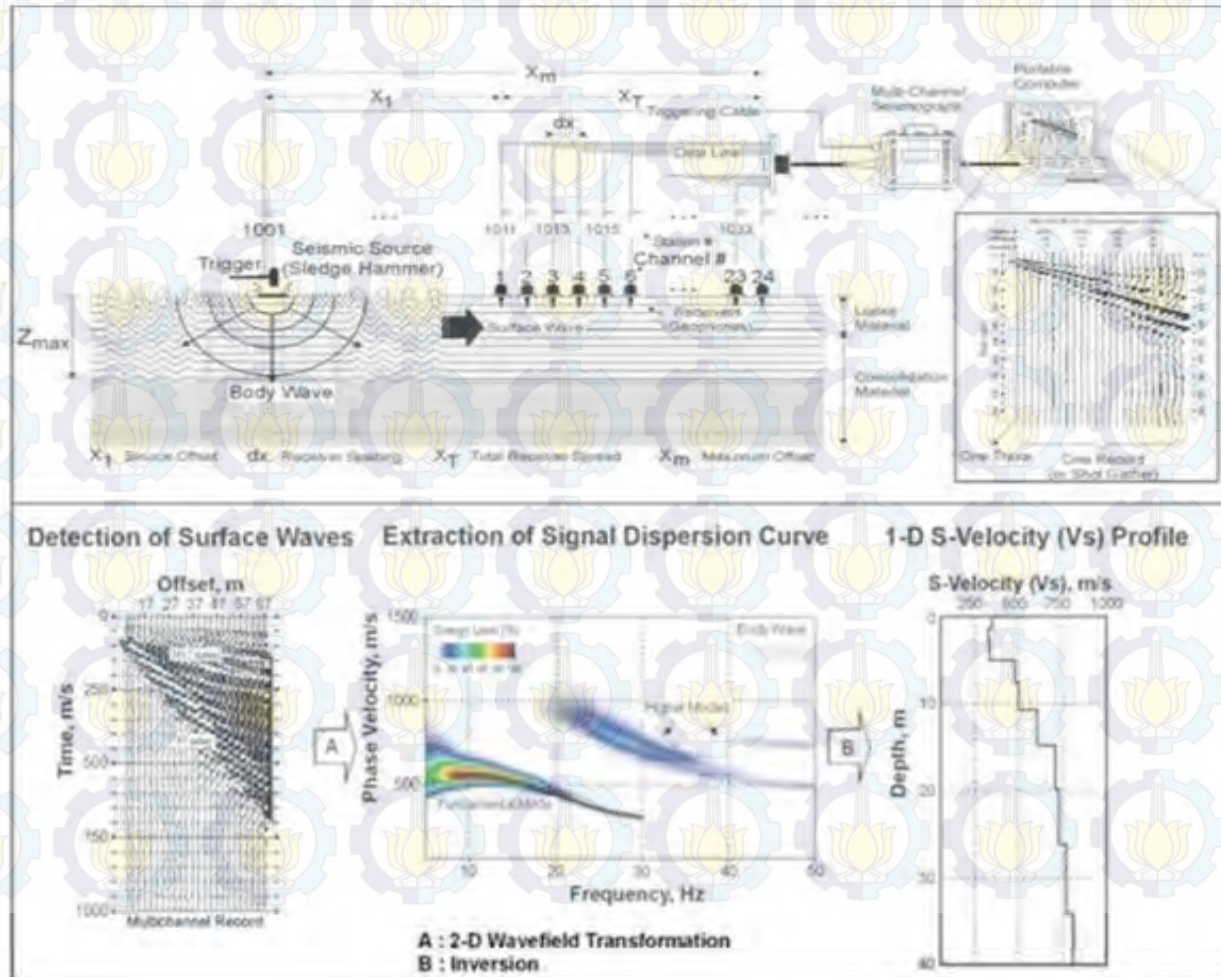
berhubungan dengan
saturasi air, lumpur &
keberadaan fracture.



Pendahuluan

V_s

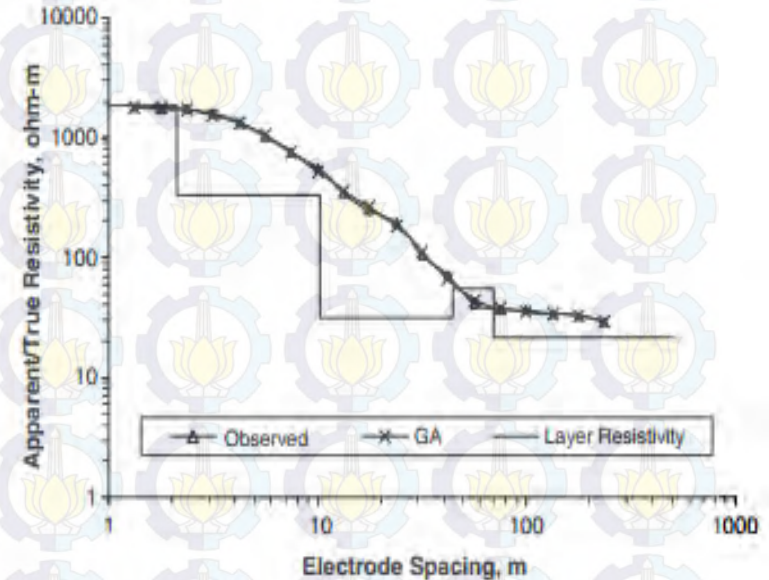
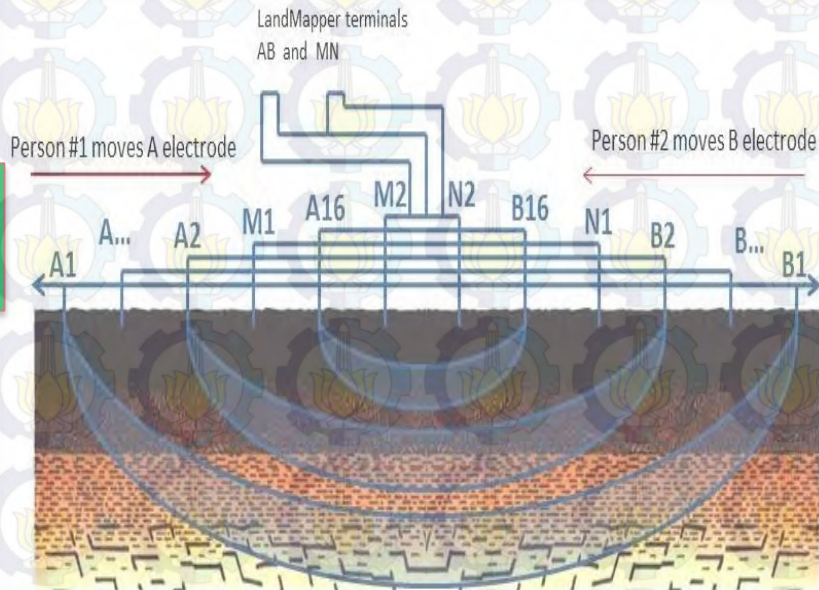
MASW



Pendahuluan

ρ

VES



Pendahuluan

V_s



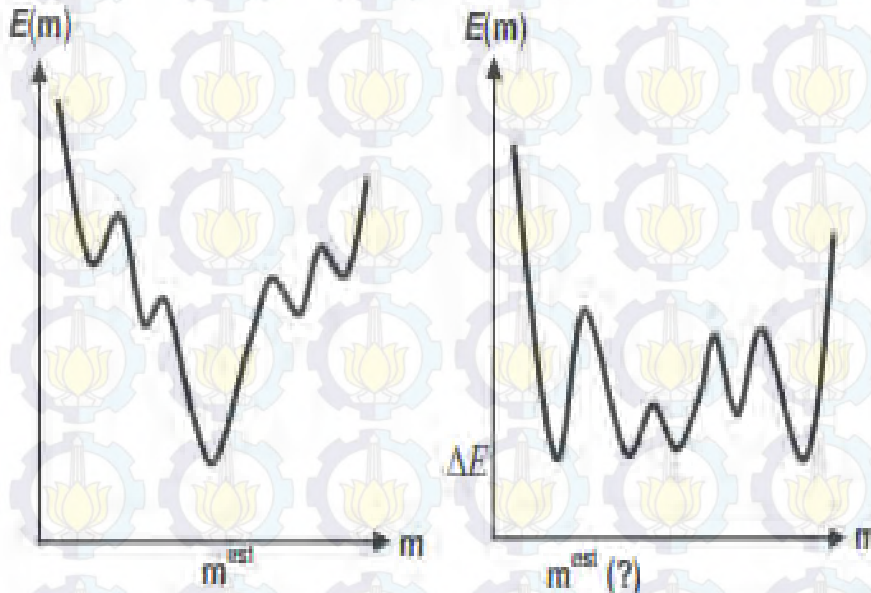
I N V E R S I

ρ



Pendahuluan

Kurva dispersi gelombang Rayleigh & VES tidak linear dan multi-modal



**OPTIMASI
GLOBAL**



Pendahuluan

AG

SA

RR-PSO

PSO

OPTIMASI
GLOBAL



DE

- Baru
- Konvergensi tertinggi di PSO
- Perhitungan parameternya mudah



**Dibutuhkan algoritma inversi yang
cepat, stabil & *robust* untuk inversi
kurva dispersi & VES.....**





Implementasi Algoritma RR-PSO yang cepat, stabil dan *robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan *Vertical Electrical Sounding* (VES)

Dharma Arung Laby, Prof. Dr. rer. Nat Bagus Jaya Santosa, SU ,
Sungkono, M.Si

Tujuan

- Mengetahui Kemampuan algoritma RR-PSO dalam mengoptimasi fungsi yang multi-modal
- Mendapatkan hasil inversi dispersi gelombang Rayleigh menggunakan RR-PSO.
- Mendapatkan hasil inversi VES menggunakan RR-PSO
- Merekonstruksi stratigrafi bawah permukaan tanggul LUSI berdasarkan hasil inversi dispersi gelombang Rayleigh dan VES menggunakan RR-PSO.

Batasan Masalah

- Inversi dispersi gelombang Rayleigh mode dasar dan VES menggunakan RR-PSO.
- Data yang digunakan ialah data sintetik hasil pemodelan ke depan dan data lapangan yang diakuisisi di tanggul LUSI (Lumpur-Sidoarjo).
- Software yang digunakan MATLAB R2009a.

OUTLINE

**Gelombang
Rayleigh &
VES**

**Teori Inversi
&
RR-PSO**

Kesimpulan

**Metode
Penelitian**

Hasil & Pembahasan

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Gelombang Rayleigh

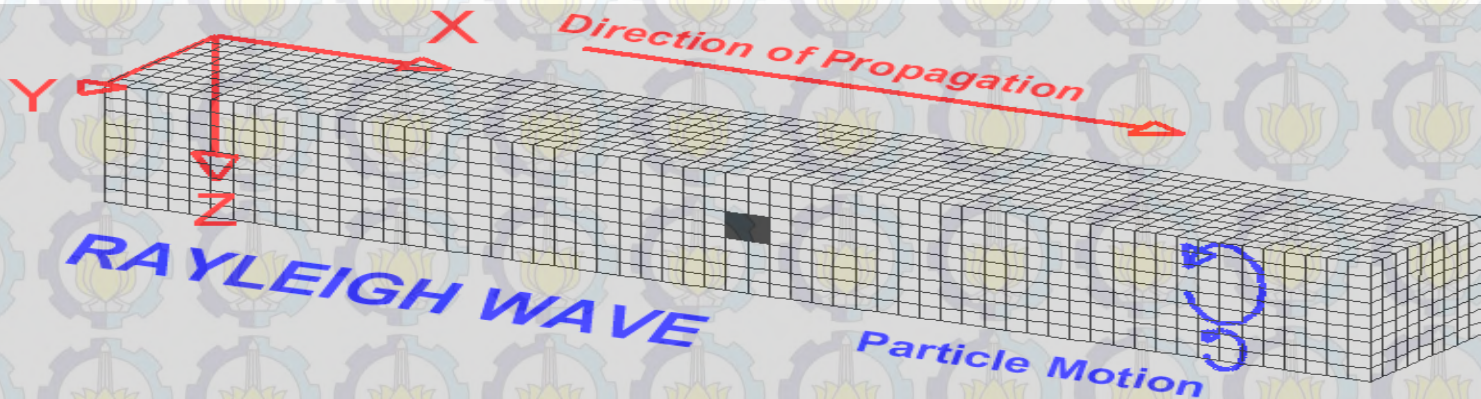
VES

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



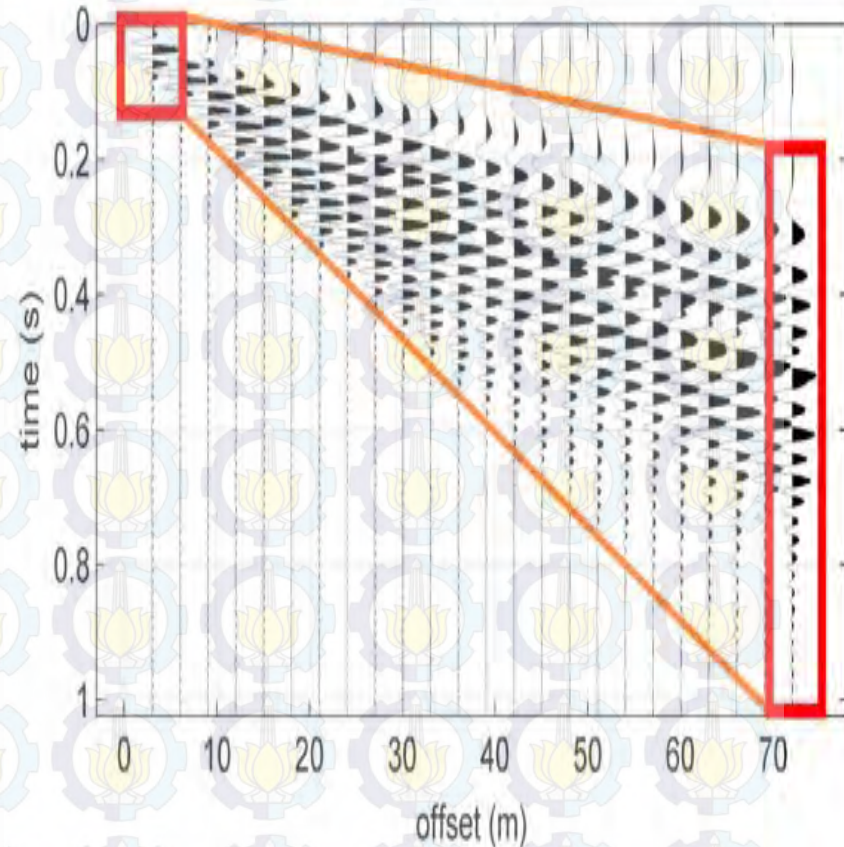
Gelombang Rayleigh

- Gelombang yang menjalar di permukaan bumi sebagai hasil interferensi gelombang P dan SV.



Gelombang Rayleigh

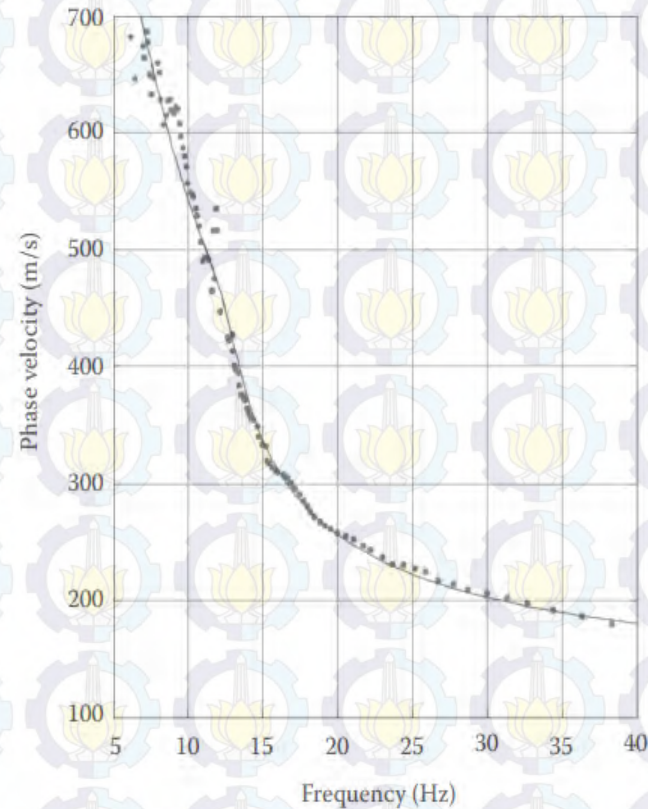
- terdispersi pada medium berlapis (*vertically heterogeneous*).
- frekuensi tinggi memiliki kecepatan fase lebih kecil dari frekuensi yang rendah.
- Implikasinya frekuensi tinggi memiliki penetrasi lebih dangkal dibanding frekuensi rendah.



Gelombang Rayleigh

- Dispersi gelombang Rayleigh dapat dihitung menggunakan metode FGRT (Sungkono dan Santosa, 2011).

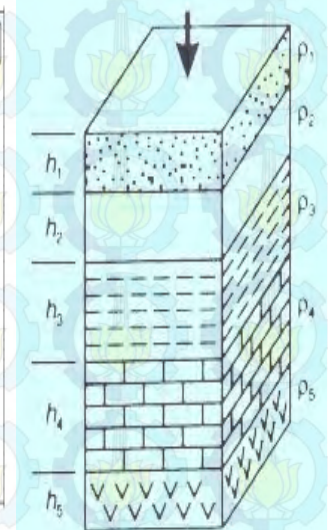
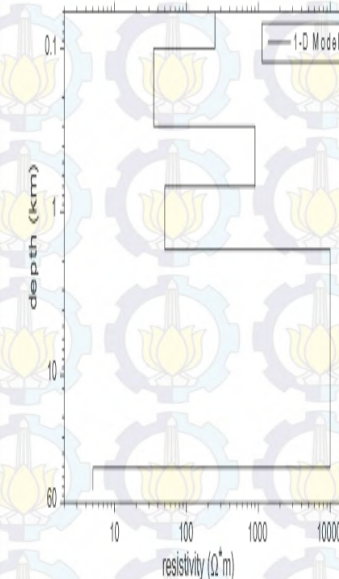
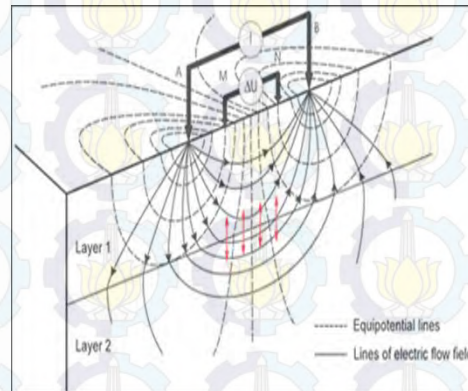
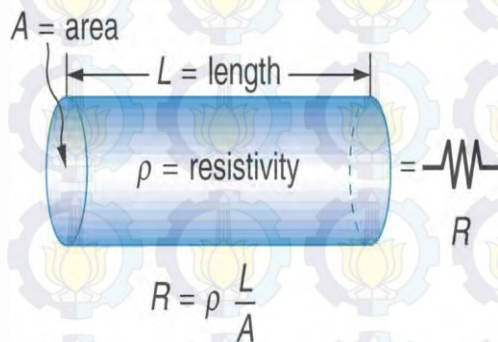
$$S(f, V_R, V_P, V_S, \rho, H) = 0$$



$$V_r = F(V_p, V_s, \rho, H, f)$$

VES

- Tujuan: memperoleh profil resistivitas 1-D.
- Asumsi bumi homogen secara horizontal.
- Menggunakan konfigurasi Schlumberger.
- Max Depth= $AB/2$
- Arus yang mengalir dalam bumi berbentuk setengah bola (bidang ekuipotensial).

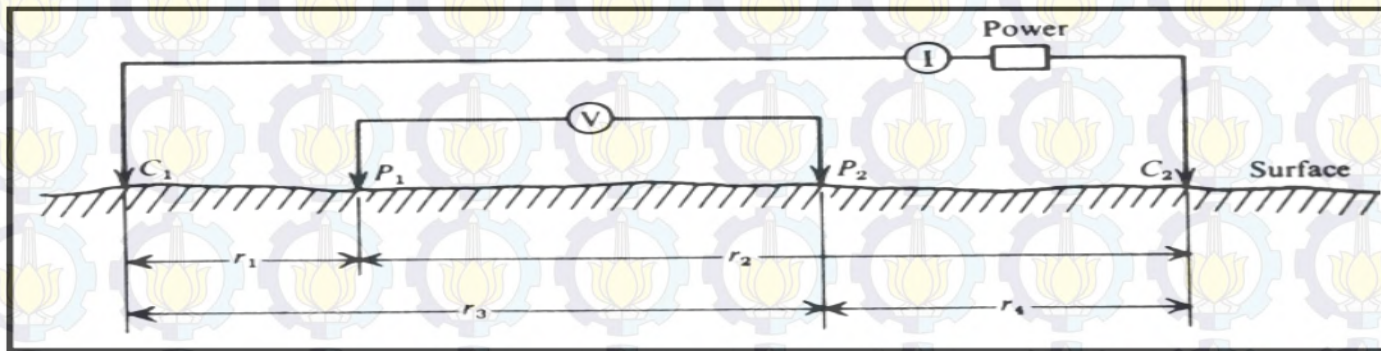


Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



VES

- Aliran arus dalam bumi.



$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}$$

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}$$

$$K = 2\pi \frac{\left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}}{\left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}}$$

VES

- Hubungan antara resistivitas semu dengan resistivitas sebenarnya dan tebal lapisan didapatkan dari persamaan Pekeris dan filter Ghosh.

$$T_k(\lambda) = \frac{T_{k+1}(\lambda) + \rho_k \tanh(\lambda h_k)}{1 + T_{k+1}(\lambda) \tanh(\lambda h_k) / \rho_k} ; k = n-1, \dots, 1$$

$$\rho_a = \sum_k T_k(\lambda) f_k$$

Teori Inversi

RR-PSO

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Teori Inversi

- Model adalah obyek yang menyatakan parameter fisis yang bervariasi terhadap posisi (variasi spasial).
- Ada dua jenis pemodelan yaitu:



→ Pemodelan ke Depan (Forward Modelling)



→ Pemodelan Inversi (Inverse Modelling)

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Teori Inversi

- Inversi dilakukan dengan meminimumkan fungsi obyektif (*misfit*) untuk mendapatkan parameter model bawah permukaan.

$$obj = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{i=1}^N |\phi_{obj_i} - \phi_{cal_i}|$$

- Model yang baik, memiliki respon yang fit dengan data.
- Pada kenyataannya solusi inversi yang diperoleh tidak unik sehingga menimbulkan ketidakpastian (*uncertainty*).
- Ketidakpastian dapat diestimasi menggunakan parameter statistik yaitu standar deviasi (STD) dan Interkuartil (IQR).

RR-PSO

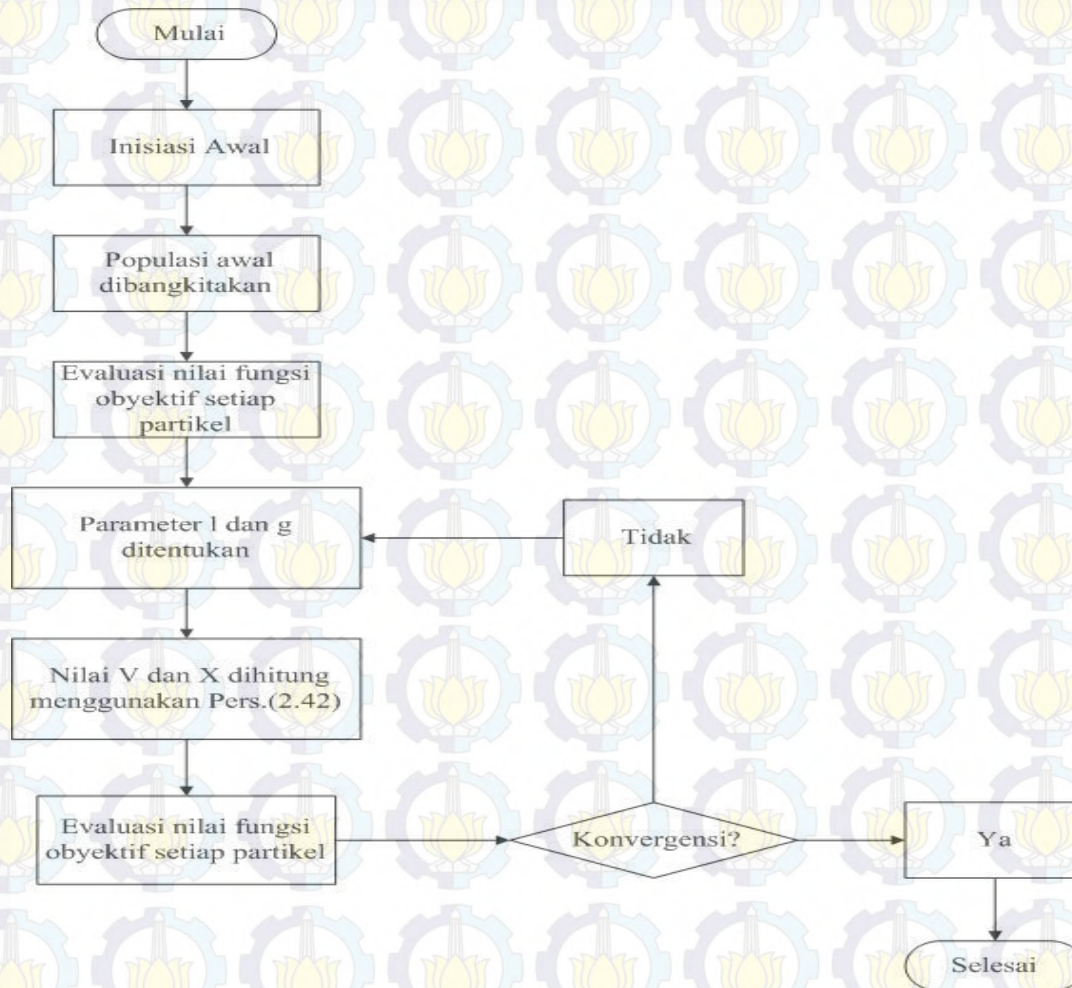
- *Regressive-regressive Particle Swarm Optimization* (RR-PSO) salah satu versi terbaru dari PSO (Fernández-Martínez and García-Gonzalo, 2012). Algoritma ini diperoleh dengan pendekatan skema *backward finite difference* untuk persamaan kecepatan dan akselerasi pada sistem getaran teredam.

$$V(t + \Delta t) = \frac{V(t) + \phi_1 \Delta t (g(t) - X(t)) + \phi_2 \Delta t (l(t) - X(t))}{1 + (1 - \omega) \Delta t + \phi \Delta t^2},$$

$$X(t + \Delta t) = X(t) + V(t + \Delta t) \Delta t$$

dengan $\phi = \phi_1 + \phi_2$, $X(0) = X_0$, $V(0) = 0$, dan $\Delta t = 1$.

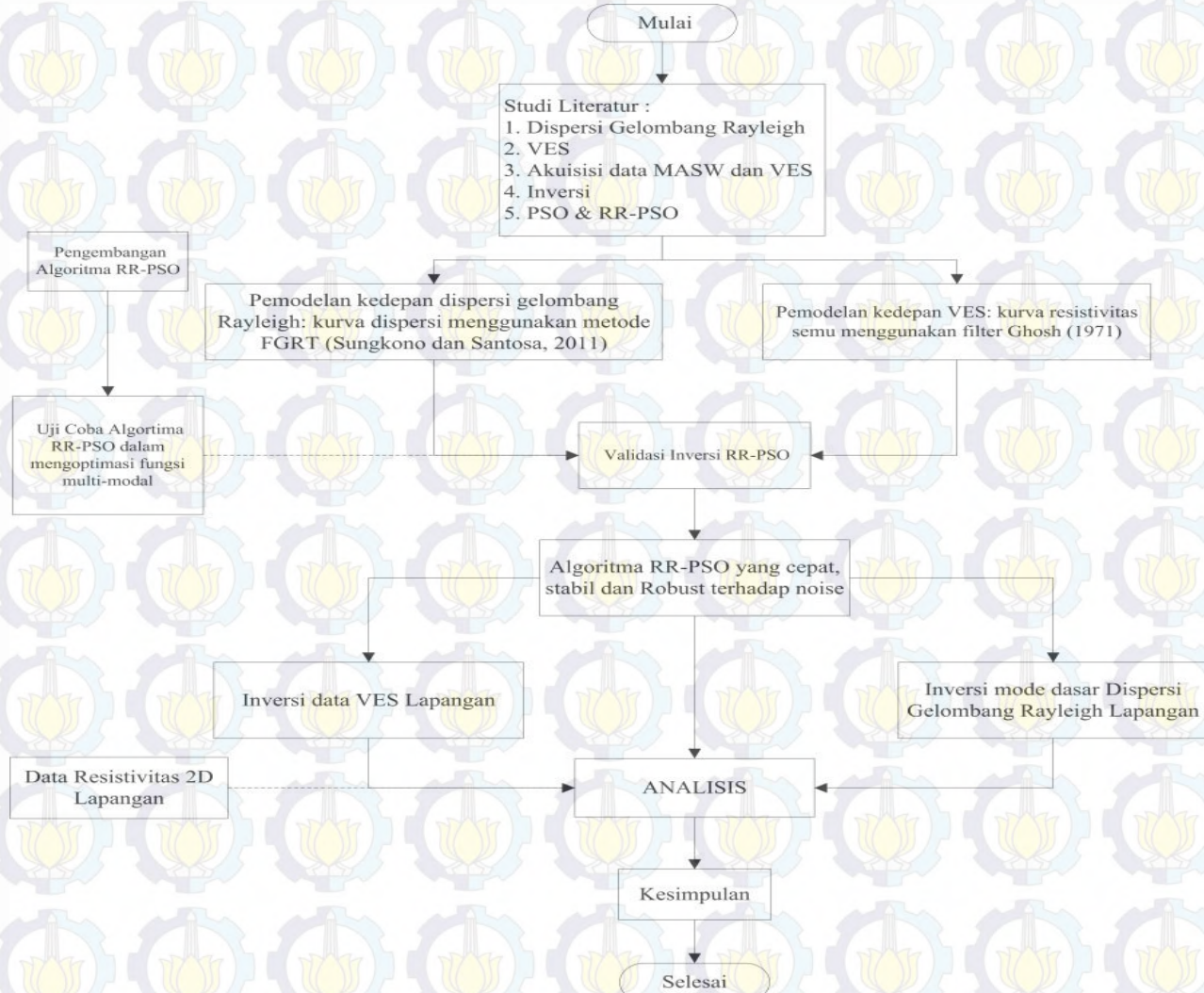
Alur RR-PSO



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Metode Penelitian



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Metode Penelitian

- Simulasi numerik : Optimasi fungsi Griewank oleh RR-PSO, PSO, GPSO & VFSA.

- Validasi metode inversi: Inversi kurva dispersi dan data VES sintetik.

$$SI = \left(1 - \frac{\sum_{m=1}^M \frac{|p_m^{inv} - p_m^r|}{p_m^r}}{M} \right) 100\%$$

- Inversi data lapangan: Tanggul LUSI P.79 – P.82.
- Rekonstruksi bawah permukaan tanggul berdasarkan hasil inversi kurva dispersi & data VES menggunakan RR-PSO.

Hasil & Pembahasan

Simulasi Numerik: Optimasi Fungsi Griewank

Inversi Kurva dispersi

Inversi data VES

Rekonstruksi bawah permukaan Tanggul LUSI P.79 – P.82

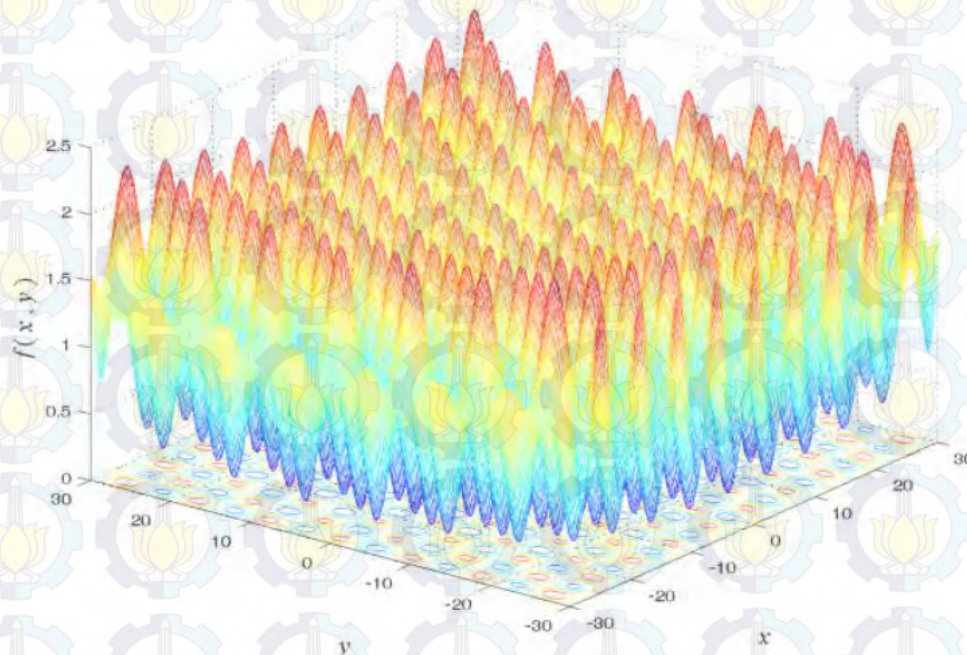
Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Simulasi Numerik

- **Optimasi Fungsi Griewank**

$$\min f(x, y) = \frac{x^2 + y^2}{4000} - \cos(x) \cos\left(\frac{y}{\sqrt{2}}\right) + 1$$



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

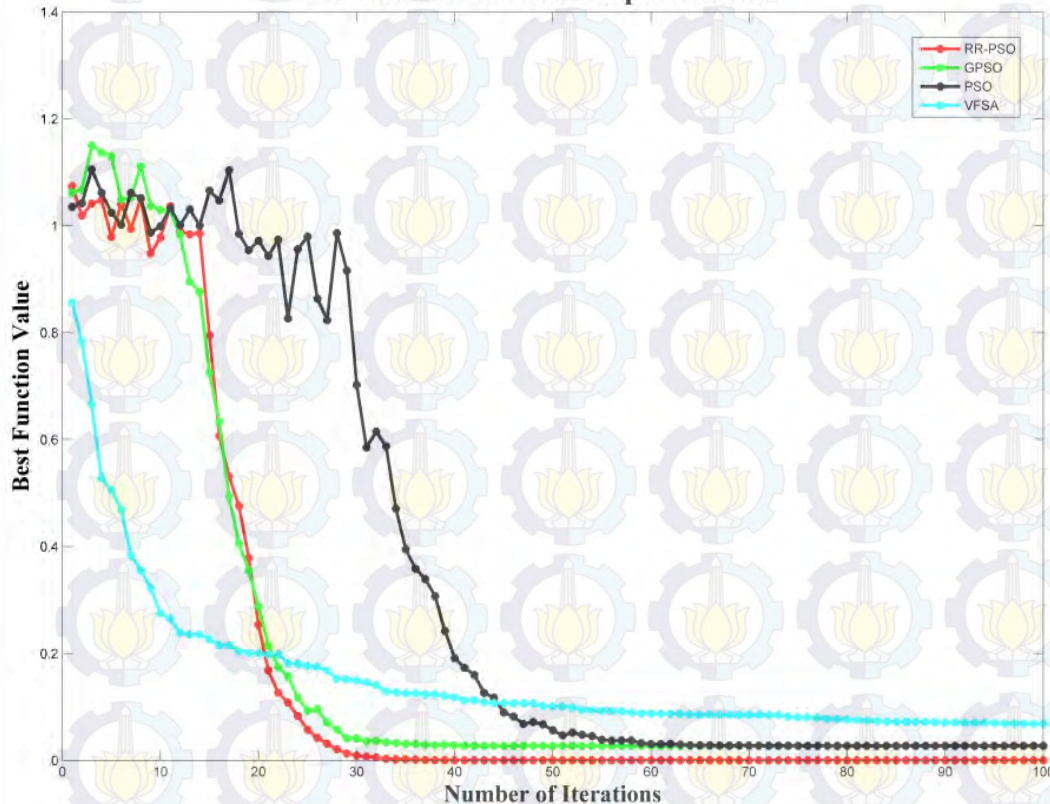


Simulasi Numerik

• Optimasi Fungsi Griewank

Pencarian minimum global : *search space* $x=[-30\ 30]$, $y=[-30\ 30]$, 200 partikel & 100 iterasi

Griewank Function Optimization



Nilai	Solusi Eksak Fungsi Griewank	RR-PSO	GPSO	PSO	VFSA
x	0	1.36×10^{-9}	8.76×10^{-9}	1.55×10^{-7}	6.13
y	0	3.04×10^{-9}	1.17×10^{-8}	4.61×10^{-6}	-0.019
$f(x,y)$	0	0	0	5.34×10^{-12}	0.1232
Lama Perhitungan (detik)		0.06	0.06	0.06	0.04

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Inversi Kurva Dispersi

Data Sintetik

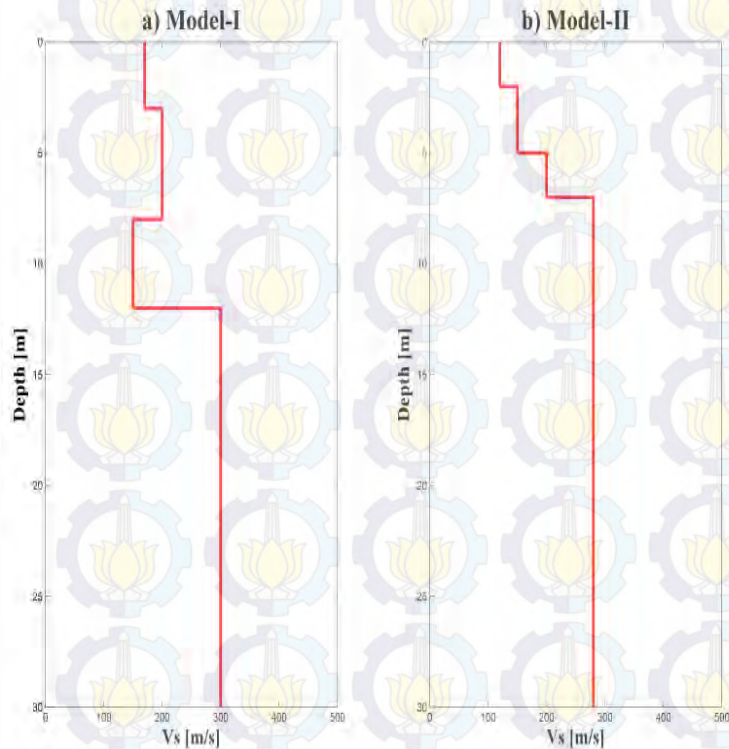
Data Lapangan

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

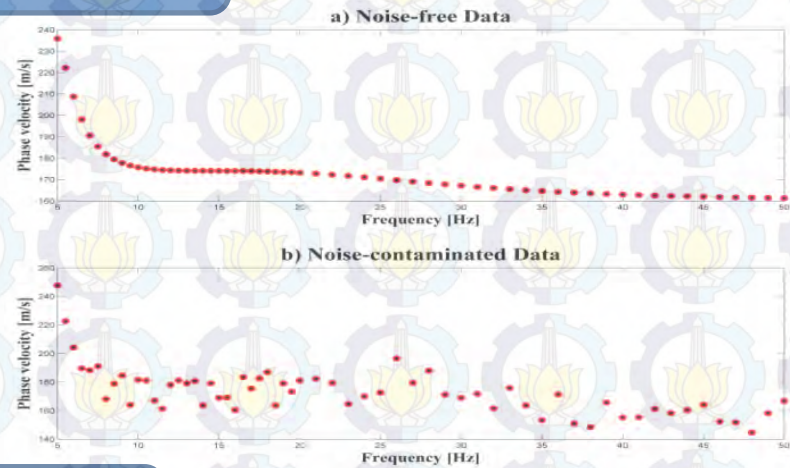


Data Sintetik

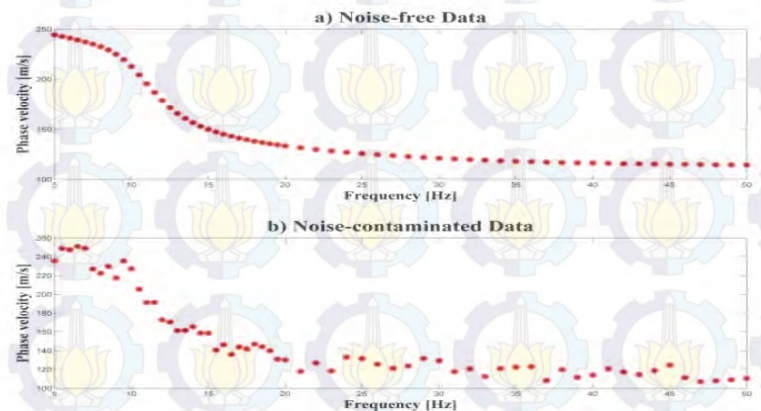
• Model Sintetik



KD sintetik I



KD sintetik II



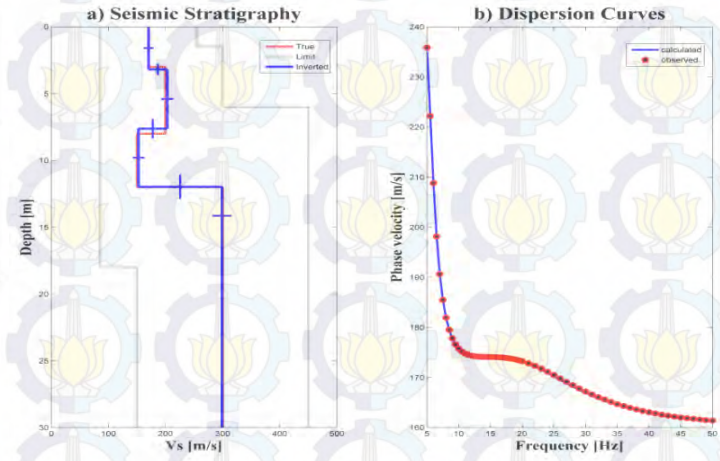
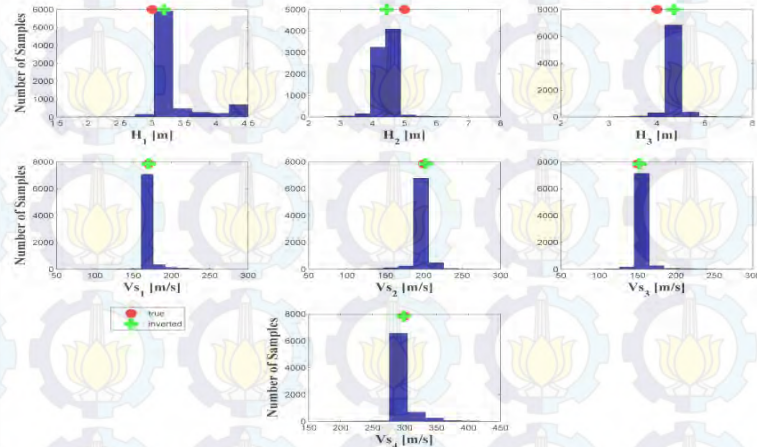
Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



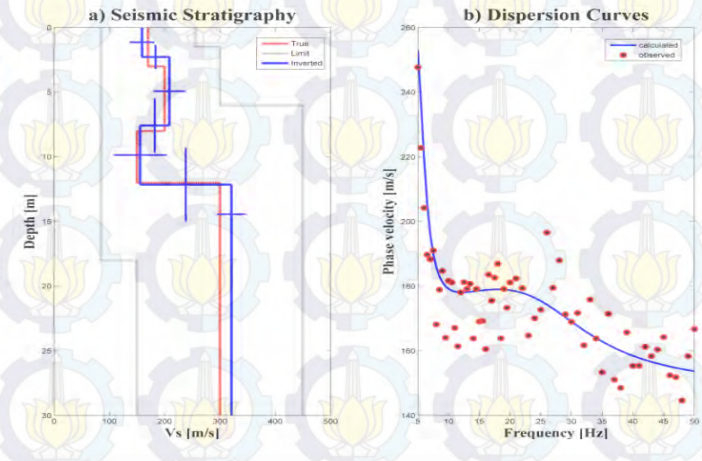
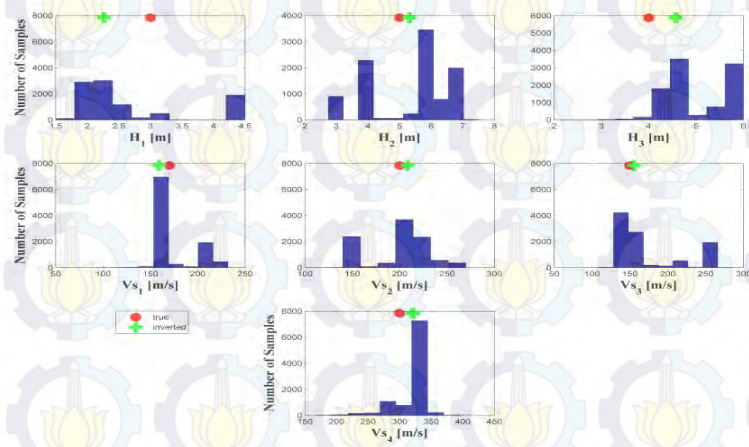
Data Sintetik

• Inversi data Sintetik I

Noise-Free



Noise-Contaminated



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

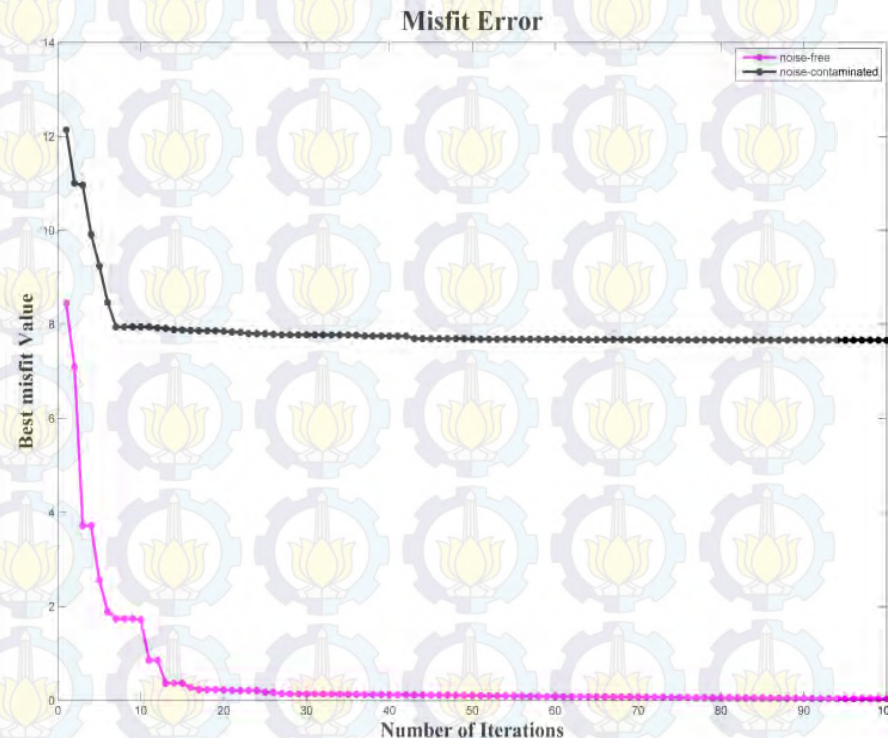


Data Sintetik

• Inversi data Sintetik I

Tabel Similarity Index

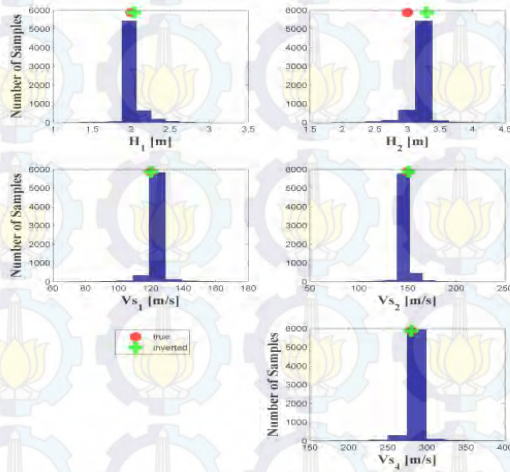
Data Sintetik	SI (%)
Noise-Free	95.73
Noise-Contaminated	90.53



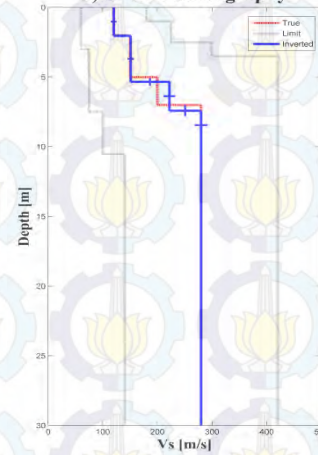
Data Sintetik

• Inversi data Sintetik II

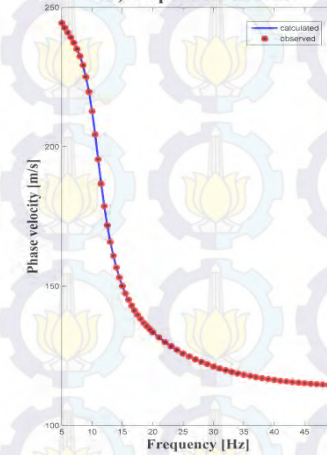
Noise-Free



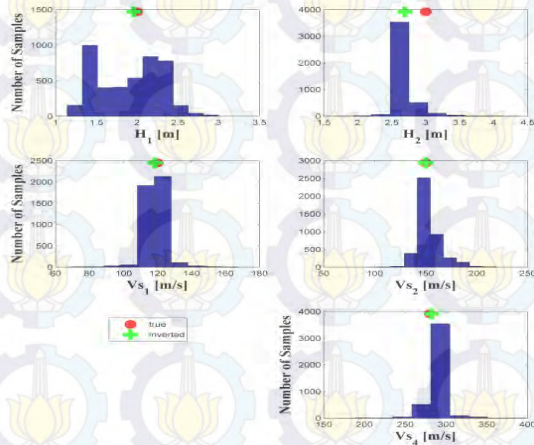
a) Seismic Stratigraphy



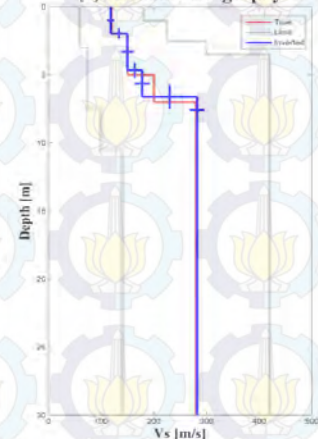
b) Dispersion Curves



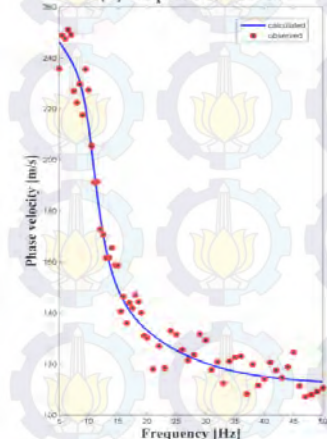
Noise-Contaminated



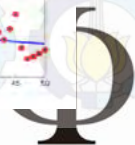
(a) Seismic Stratigraphy



(b) Dispersion Curves



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

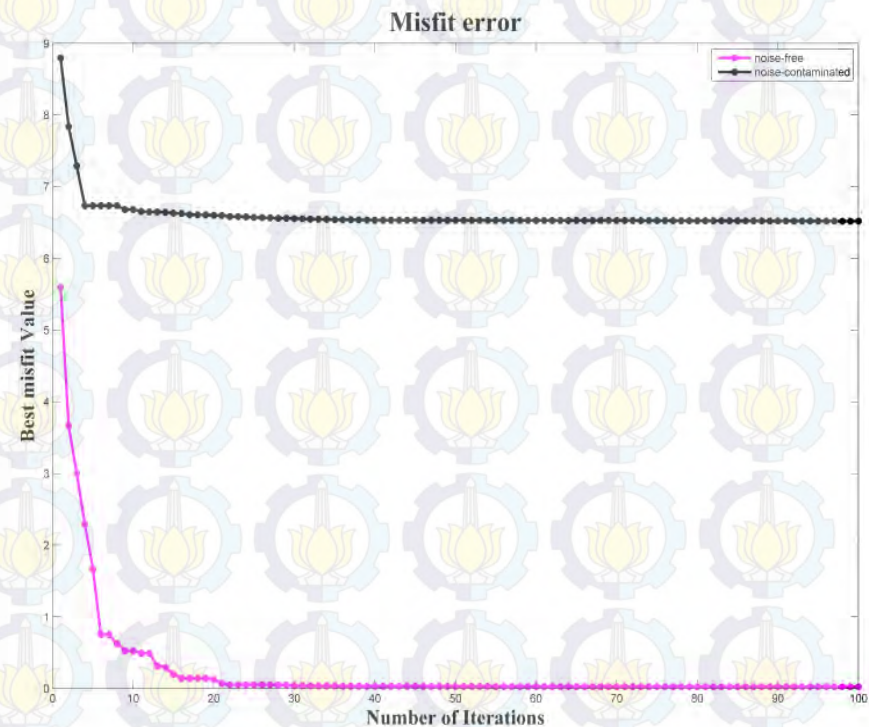


Data Sintetik

• Inversi data Sintetik II

Tabel Similarity Index

Data Sintetik	SI (%)
Noise-Free	96.07
Noise-Contaminated	96.02

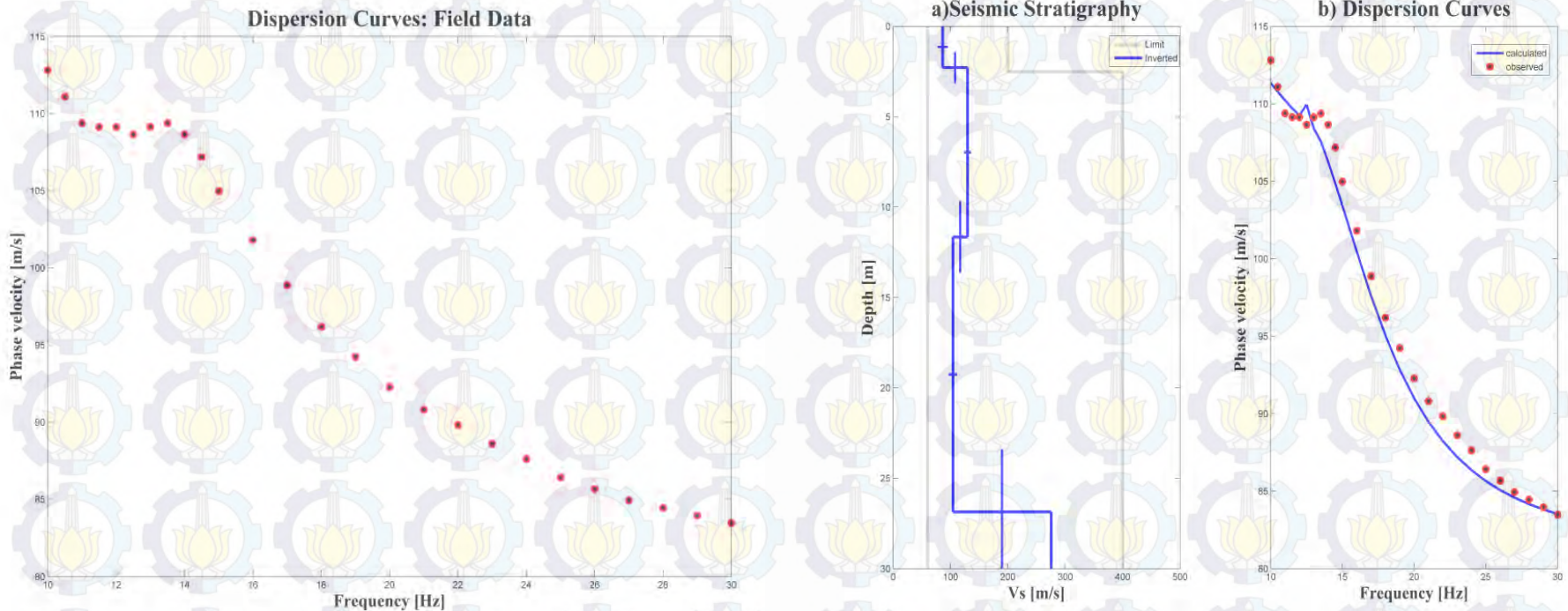


Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Data Lapangan

- Inversi kurva dispersi tanggul LUSI P.79 – P.82



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Data VES

Data Sintetik

Data Lapangan

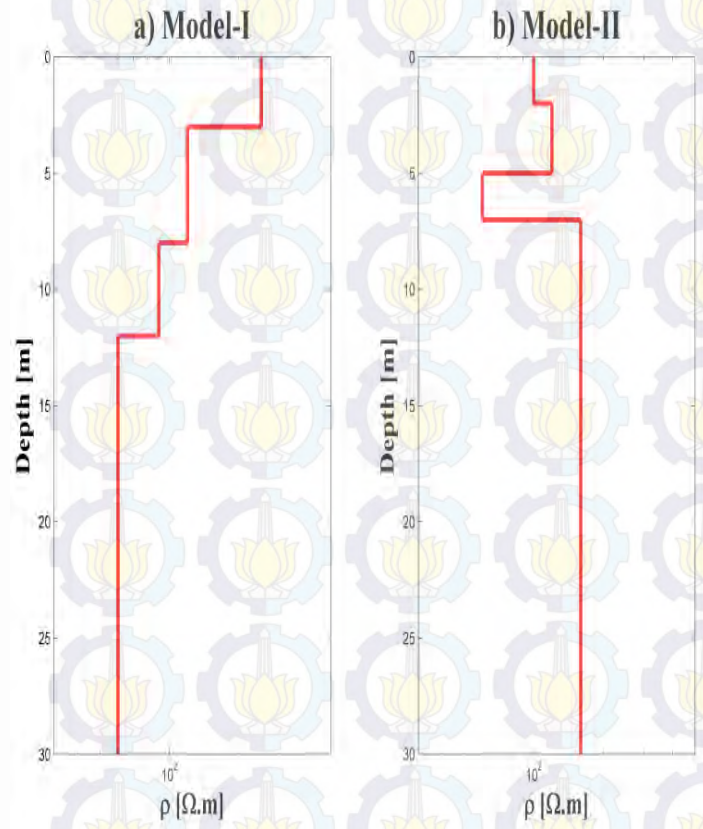
Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi
dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



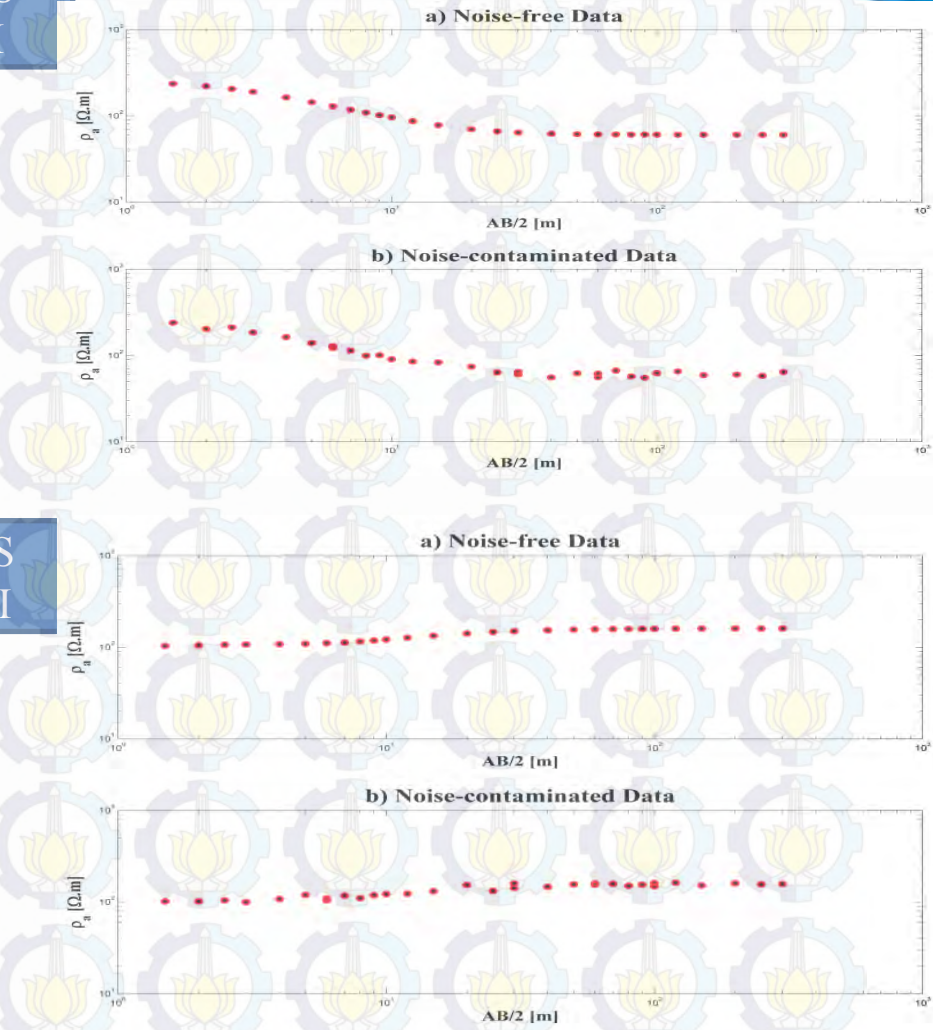
Data Sintetik

- Model Sintetik

Data VES sintetik I



Data VES sintetik II

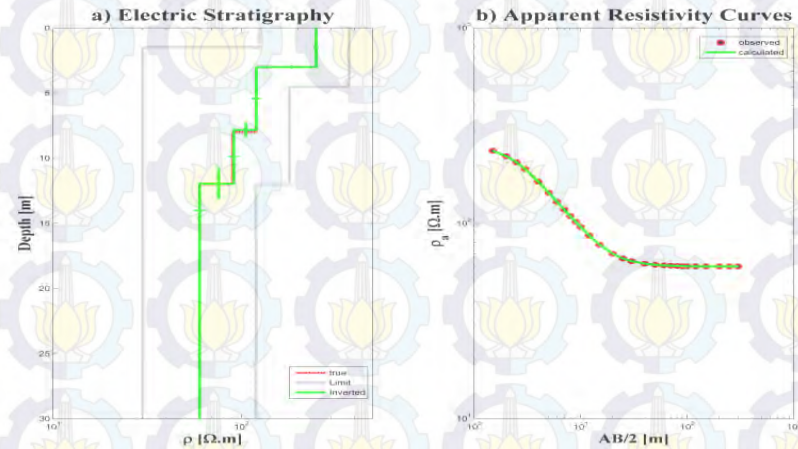
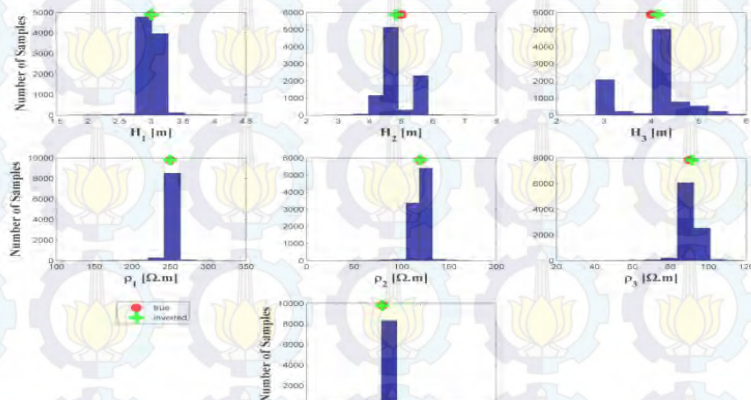


Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

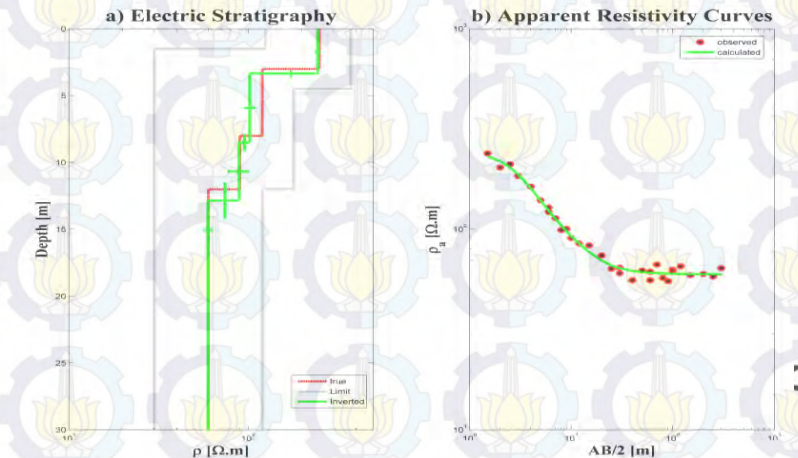
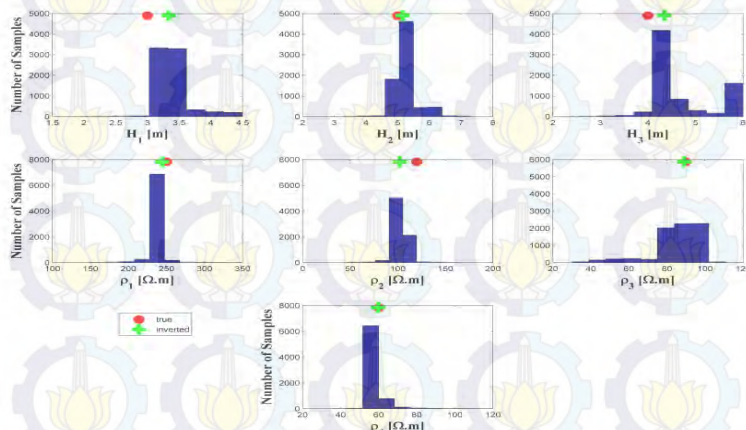
Data Sintetik

• Inversi data VES Sintetik I

Noise-Free



Noise-Contaminated



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

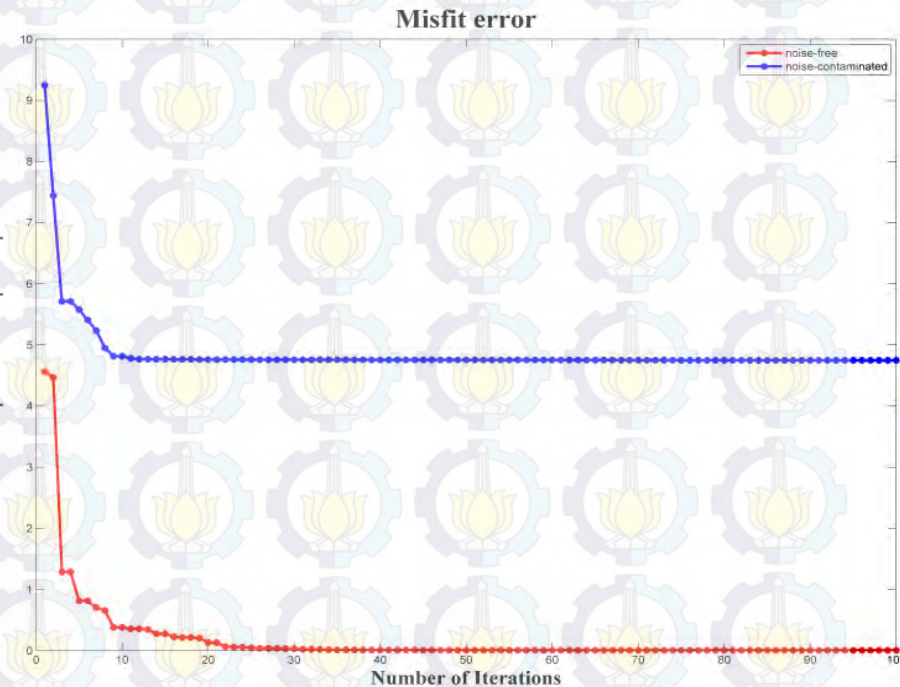


Data Sintetik

• Inversi data VES Sintetik I

Tabel Similarity Index

Data Sintetik	SI (%)
Noise-Free	98.77
Noise-Contaminated	94.00



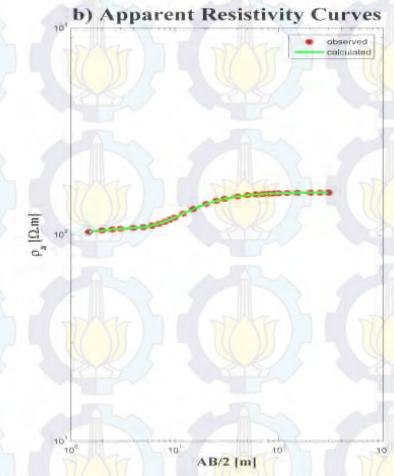
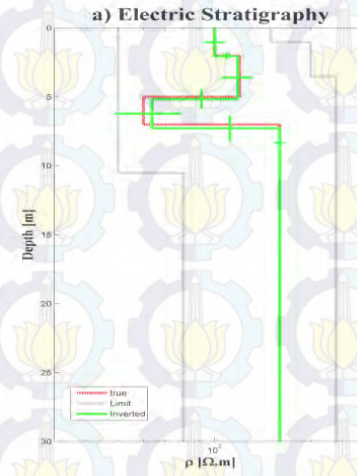
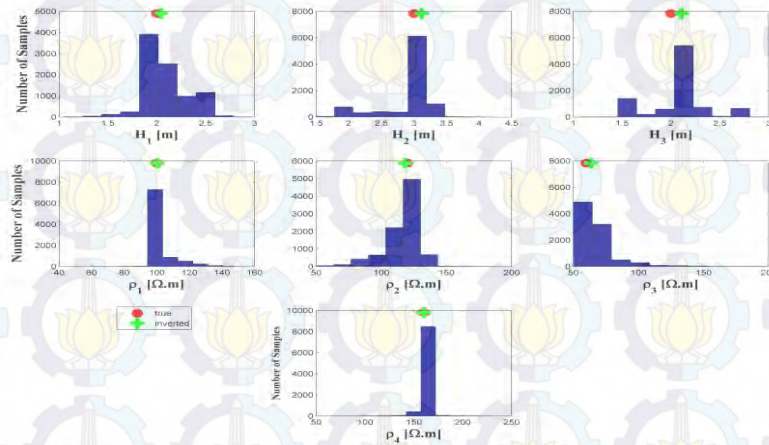
Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



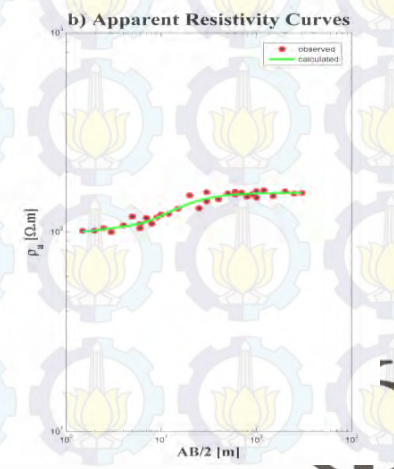
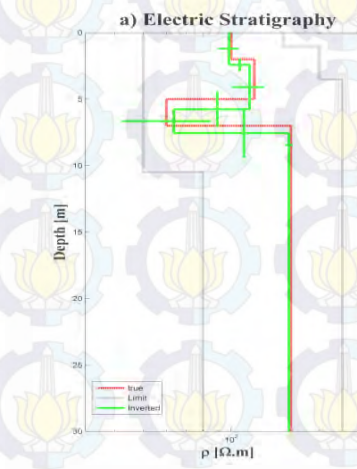
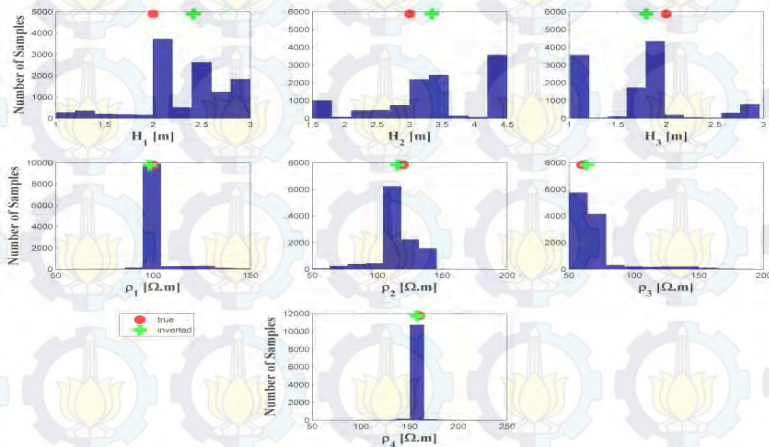
Data Sintetik

• Inversi data VES Sintetik II

Noise-Free



Noise-Contaminated



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

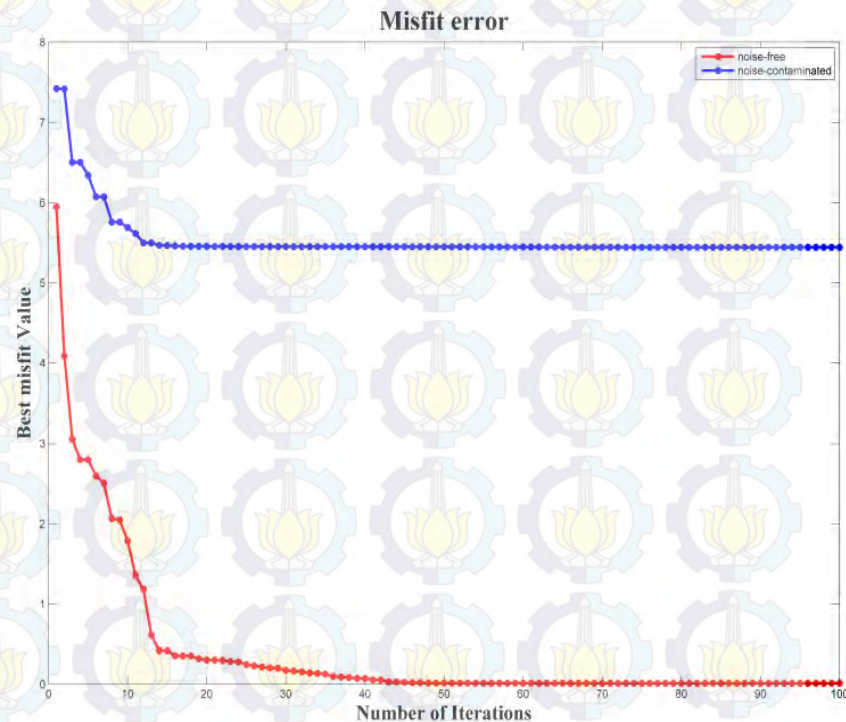


Data Sintetik

• Inversi data VES Sintetik I

Tabel Similarity Index

Data Sintetik	SI (%)
Noise-Free	97.19
Noise-Contaminated	92.04

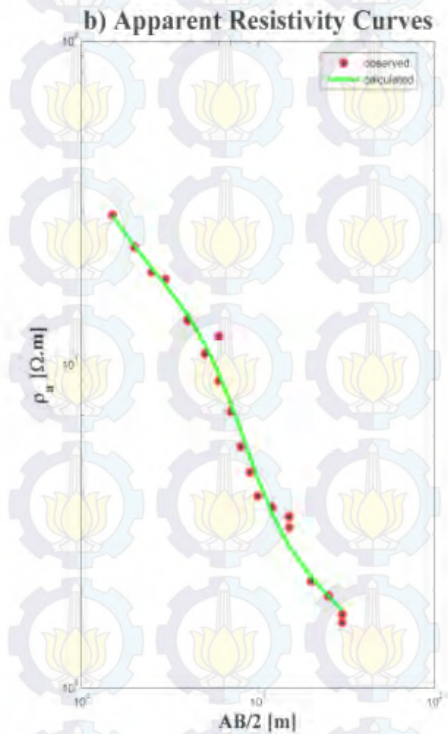
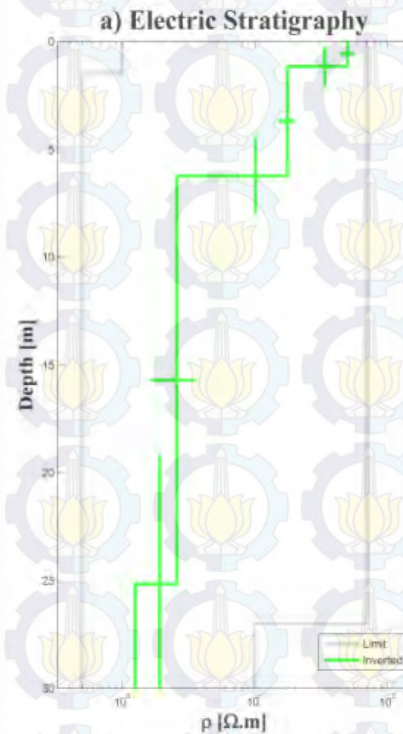
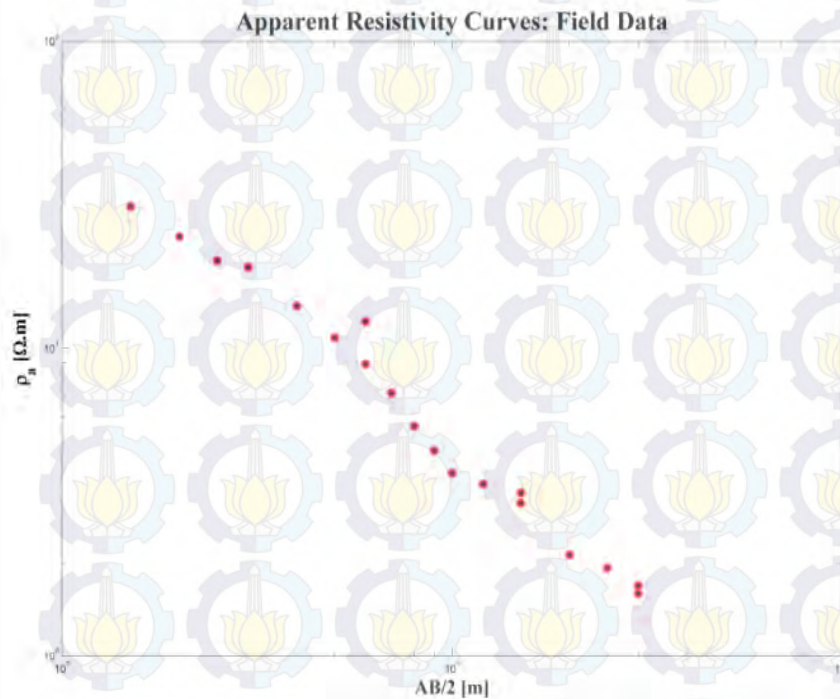


Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Data Lapangan

- Inversi data VES tanggul LUSI P.79 – P.82



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)

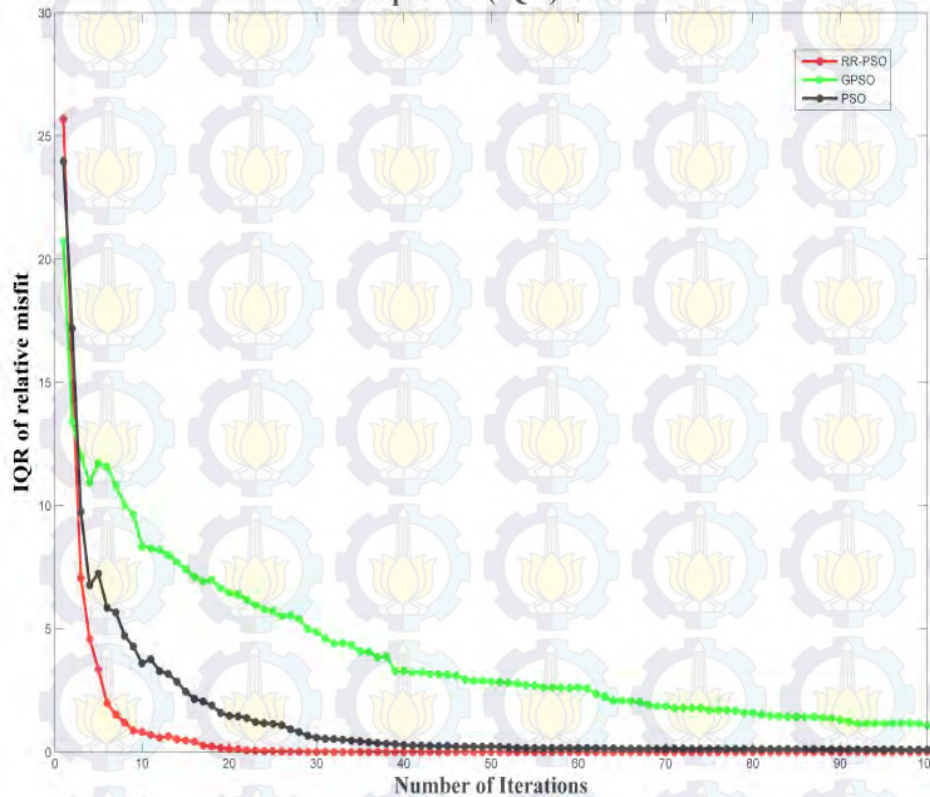


Ketidak pastian RR-PSO

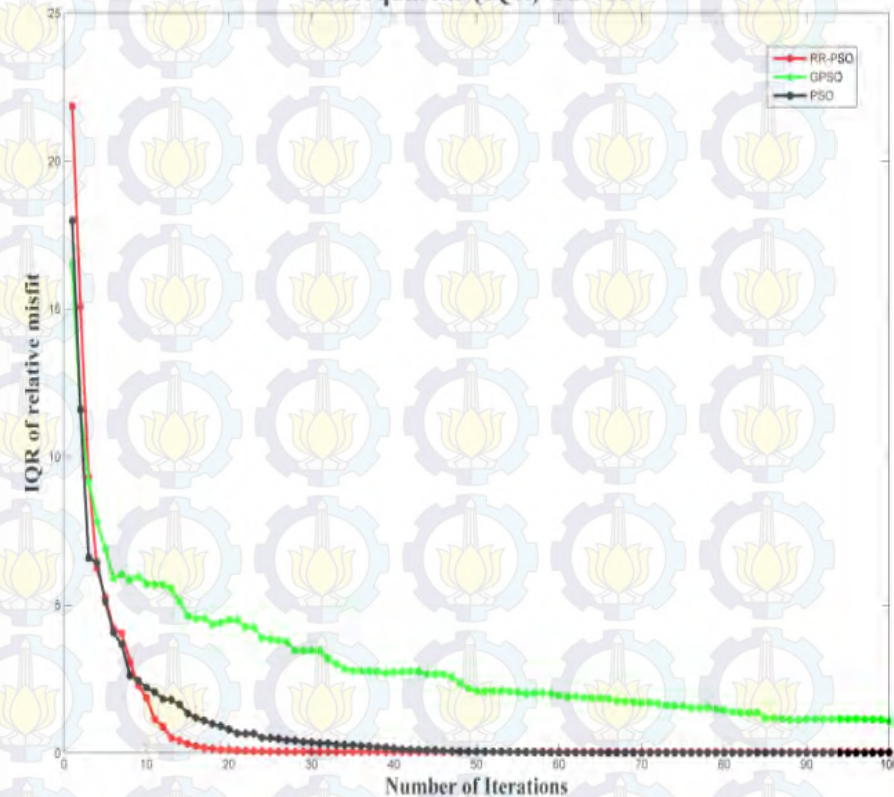
Interkuartil misfit kurva dispersi

Interkuartil misfit data VES

Interquartile (IQR) Curves



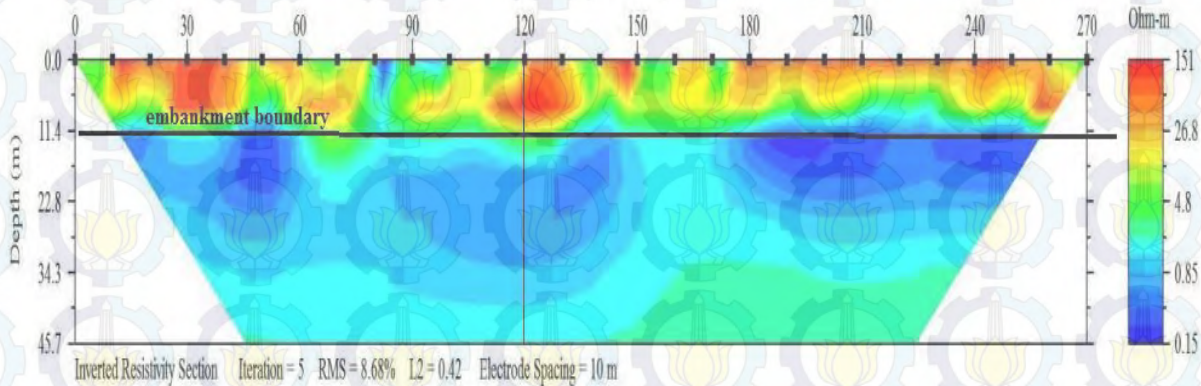
Interquartile (IQR) Curves



Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Rekonstruksi bawah permukaan tanggul LUSI P.79 – P.82



- Tanggul P.79 – P.82 mengalami penurunan muka tanah tertinggi dibanding tanggul lainnya.
- Area tanggul terdiri dari batu-batu, kerikil, dan batuan pasir yang memiliki *range* resistivitas 10 – 10000 ohm.m.
- Area di bawah tanggul dikarakterisasi nilai resistivitas rendah terdiri atas lempung lanauan dan pasir yang sangat jenuh.

Rekonstruksi bawah permukaan tanggul LUSI P.79 – P.82

a) Seismic Stratigraphy

b) Electric Stratigraphy



➔ **Tanggul**

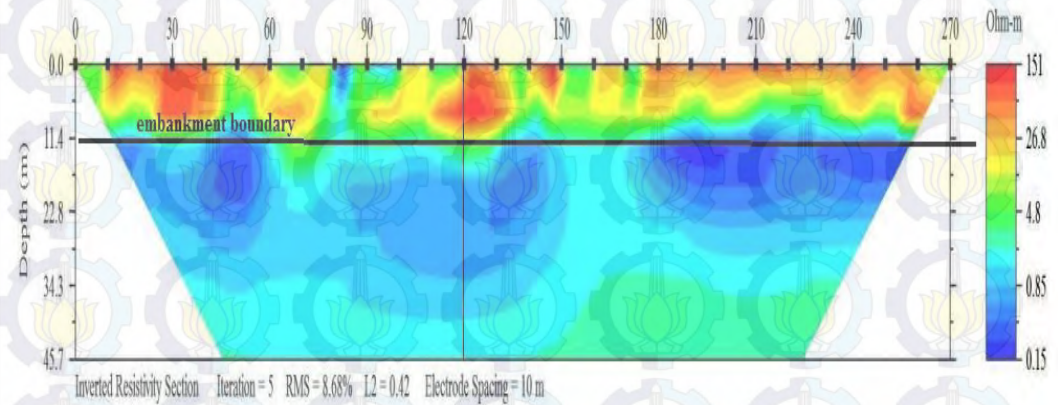
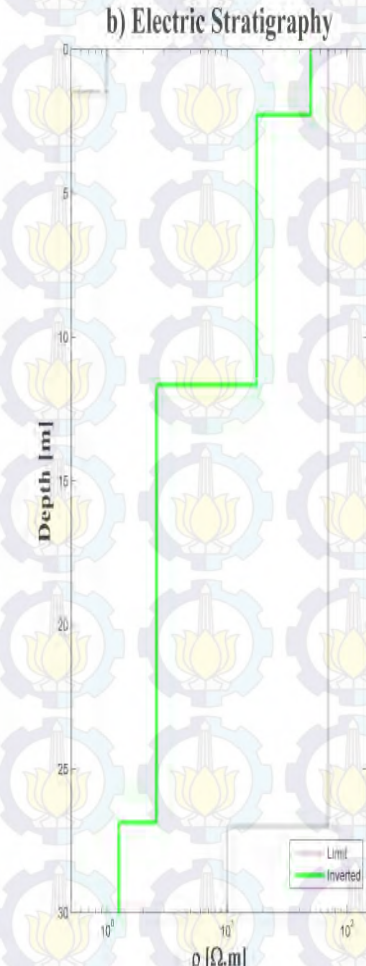
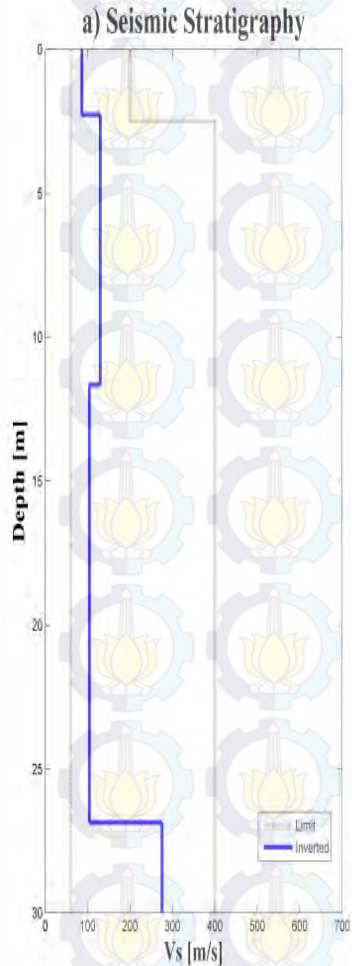
➔ **Lempung Lanauan**

➔ **Batuan Pasir**

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)



Maka



MATCH!!!

Implementasi Algoritma RR-PSO yang Cepat, Stabil dan *Robust* untuk inversi dispersi gelombang Rayleigh dan Vertical Electrical Sounding (VES)





KESIMPULAN

- RR-PSO mampu mengoptimasi fungsi yang multi modal dengan cepat dan akurat.
- RR-PSO yang dikembangkan memiliki performa yang cepat, stabil dan robust, baik pada inversi dispersi gelombang Rayleigh maupun VES.
- Mampu mengestimasi parameter bawah permukaan dengan tepat.
- RR-PSO mampu memperoleh solusi inversi dengan derajat ketidakpastian yang kecil.
- RR-PSO dapat menginterpretasikan keadaan bawah permukaan dengan tepat dan dapat digunakan untuk menilai kestabilan tanggul LUSI.



S A R A N

- **Joint inversi dispersi gelombang Rayleigh dan VES .**
- **RR-PSO dapat didesain untuk melakukan optimasi multi-obyektif**
- **Mengimplementasi RR-PSO pada permasalahan inversi lainnya.**

Terima
kasih



You'll never walk alone.