

Mendengarkan bunyi lirih (Infrasound) bumi Pengukuran dan Deteksi



Dhany Arifianto

Laboratorium Vibrasi dan Akustik

Pusat Penelitian IoT dan Teknologi Pertahanan

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
November 2021



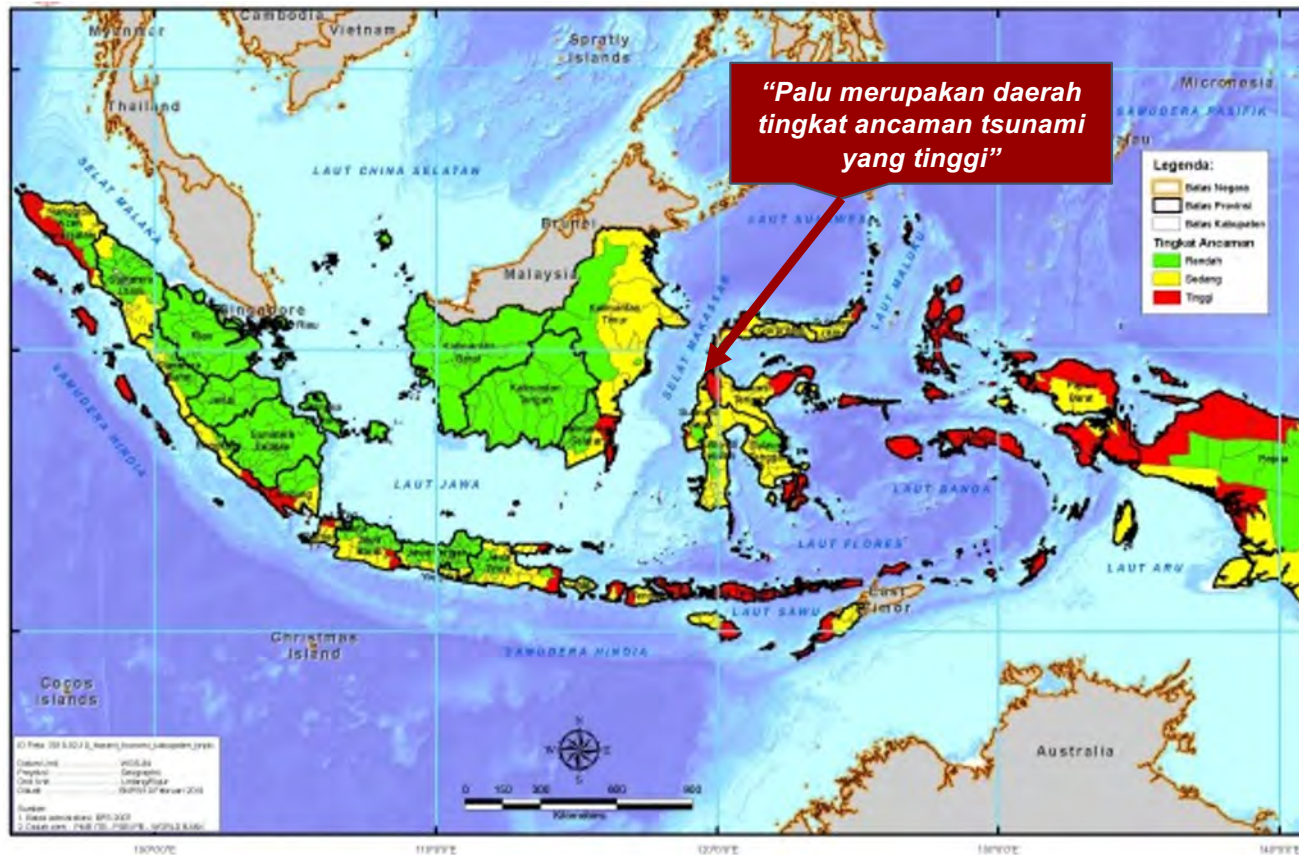
LATAR BELAKANG

"Tsunami adalah perpindahan badan air yang disebabkan oleh perubahan permukaan laut secara vertikal dengan tiba-tiba."

(Skinner & Porter, 2000)

PETA INDEKS ANCAMAN BENCANA TSUNAMI DI INDONESIA

“Tsunami di Indonesia pada tahun 1629 - 2018 terdapat 176 kejadian tsunami besar dan kecil.” (BNPB 2019)



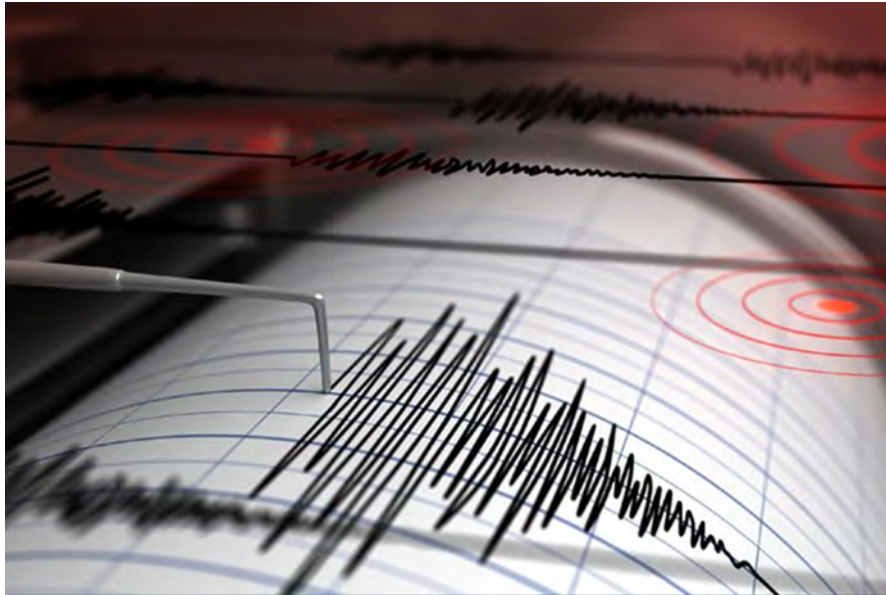
sumber gambar:

<https://disk.mediaindonesia.com/thumbs/700x-/news/2018/10/5b7f88c74b592fac013a27750d289e1d.jpg>

https://statik.tempo.co/data/2018/10/06/id_738908/738908_720.jpg



***Tsunami Palu 28 September
2018 dengan korban
sebanyak 1424 orang***



Getaran tidak terdeteksi secara dini oleh seismograf.

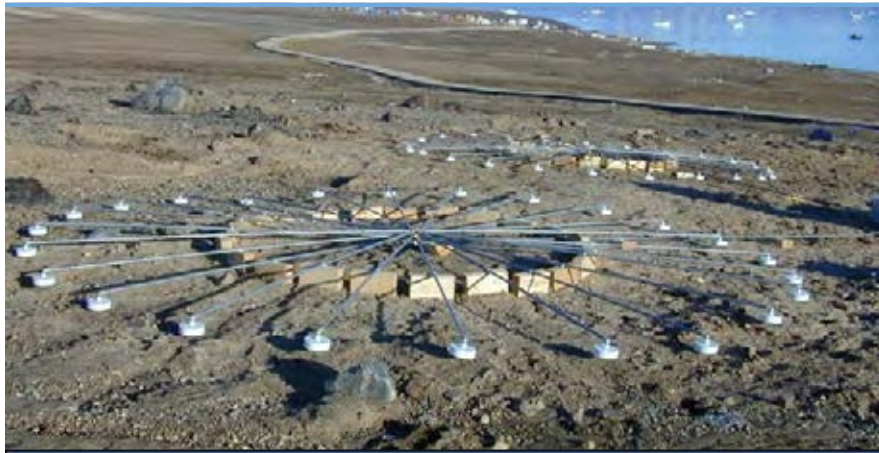
Sumber gambar seismograf :
<https://asset.kompas.com/crops/S37L5tc3WqPYql6WwXEJIUln20g=/22x0:847x550/750x500/data/photo/2018/01/06/1113817267.jpg>



Jika tanda bahaya tsunami dikirimkan dari salah satu tsunami buoy maka **waktu evakuasi sudah tidak mencukupi.**

Tsunami buoys **rawan** terjadinya pencurian perangkat.

Sumber gambar buoys : <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQu47bGxVY946FRLUQGedhoauj4KnbuD1DFdA&usqp=CAU>

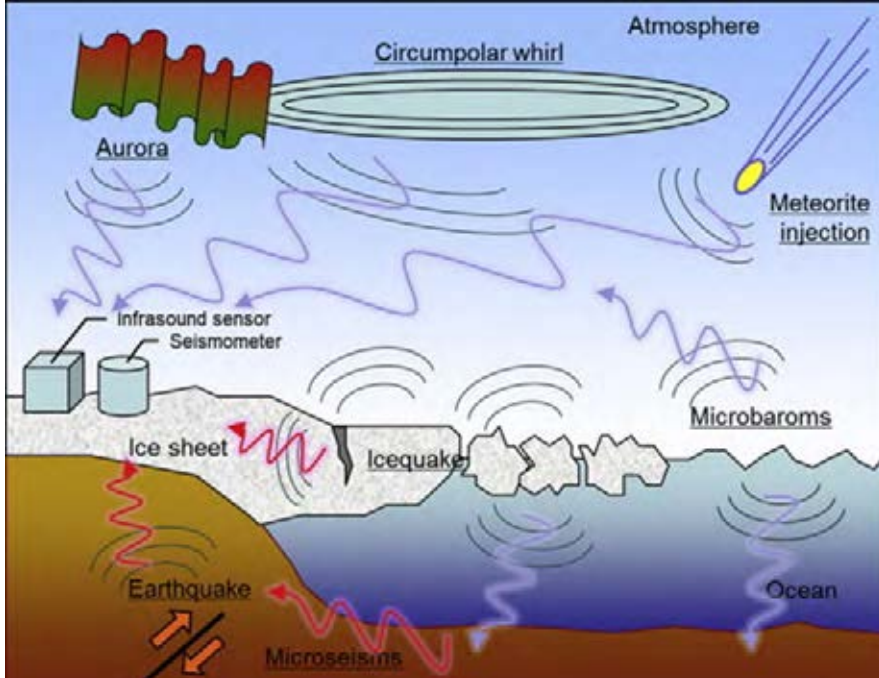


"Infrasound adalah gelombang akustik yang berosilasi dibawah batas frekuensi suara yang dapat didengar."

(Leventhall, 2007).

"Cepat rambat infrasound di bawah air 1402,74 m/s"

(Kumar et al, 2016)



Source of infrasound wave	Amplitude	Frequency
Mount Anak Krakatau	0.9 Pa	0.5 - 5 Hz
2004 Aceh earthquake	0.5 Pa	0.05 - 0.1 Hz
Tsunami	1 Pa	0.02 - 0.15 Hz
2018 Palu earthquake	0.3 Pa	0.05 - 4.4 Hz
2016 Italy earthquake	-2 Pa	0.4 Hz
Microbaroms	0.2 Pa	0.2 Hz

sumber gambar :

<https://i.pinimg.com/474x/48/c1/00/48c10057e2d02e182d09d62ef5ee55d6.jpg>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/57/Infrasound_Arrays.jpg/330px-Infrasound_Arrays.jpg

PENELITIAN SEBELUMNYA

Vandi, et al., 2020

“Dengan metode GCC-PHAT, masih kesulitan untuk menentukan triangulasi arah datang gelombang infrasound”

Modrak, et al., 2010

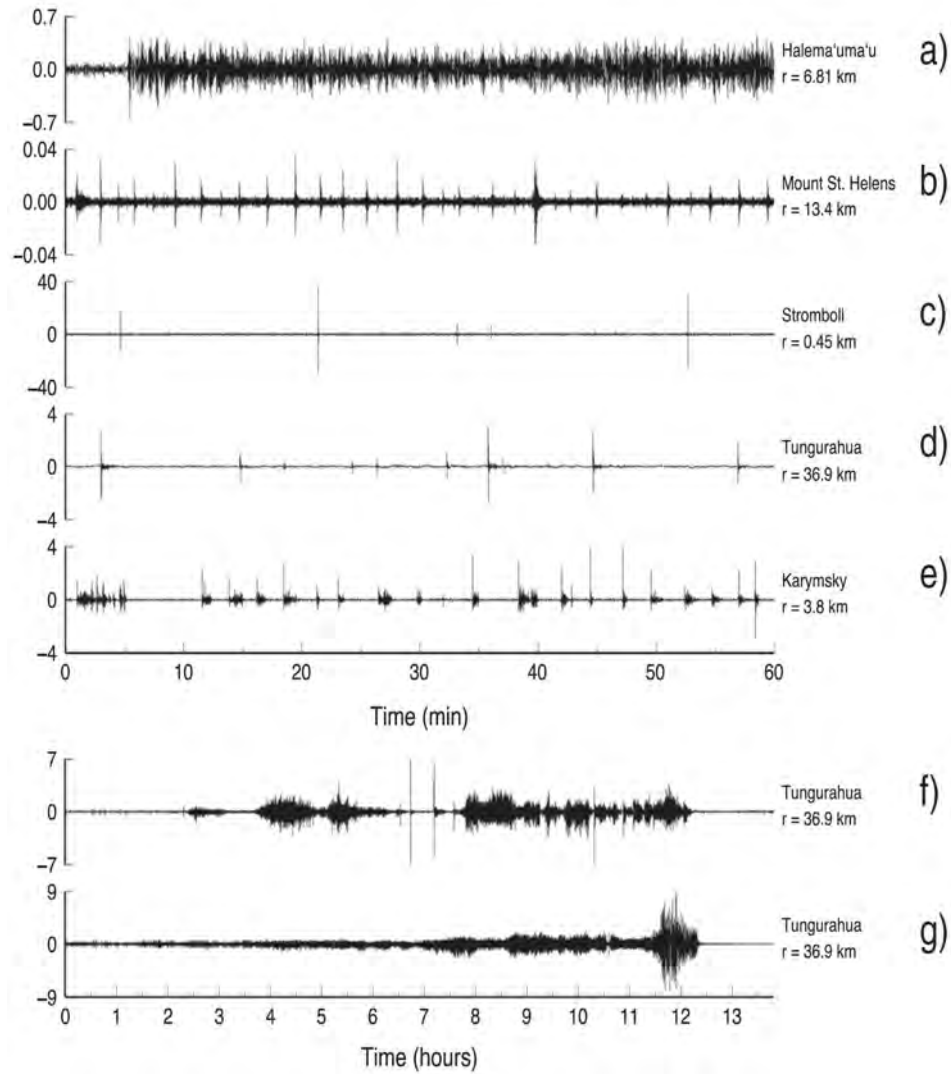
*“Menggunakan teorema Bayes dalam menggabungkan deteksi di seluruh jaringan infrasound untuk **memperkirakan lokasi sumber dan waktu kejadian**”*

*“Energi infrasonik dibiaskan oleh gradien suhu dan angin saat merambat melalui atmosfer, sehingga **mempengaruhi propagasi gelombang**”*

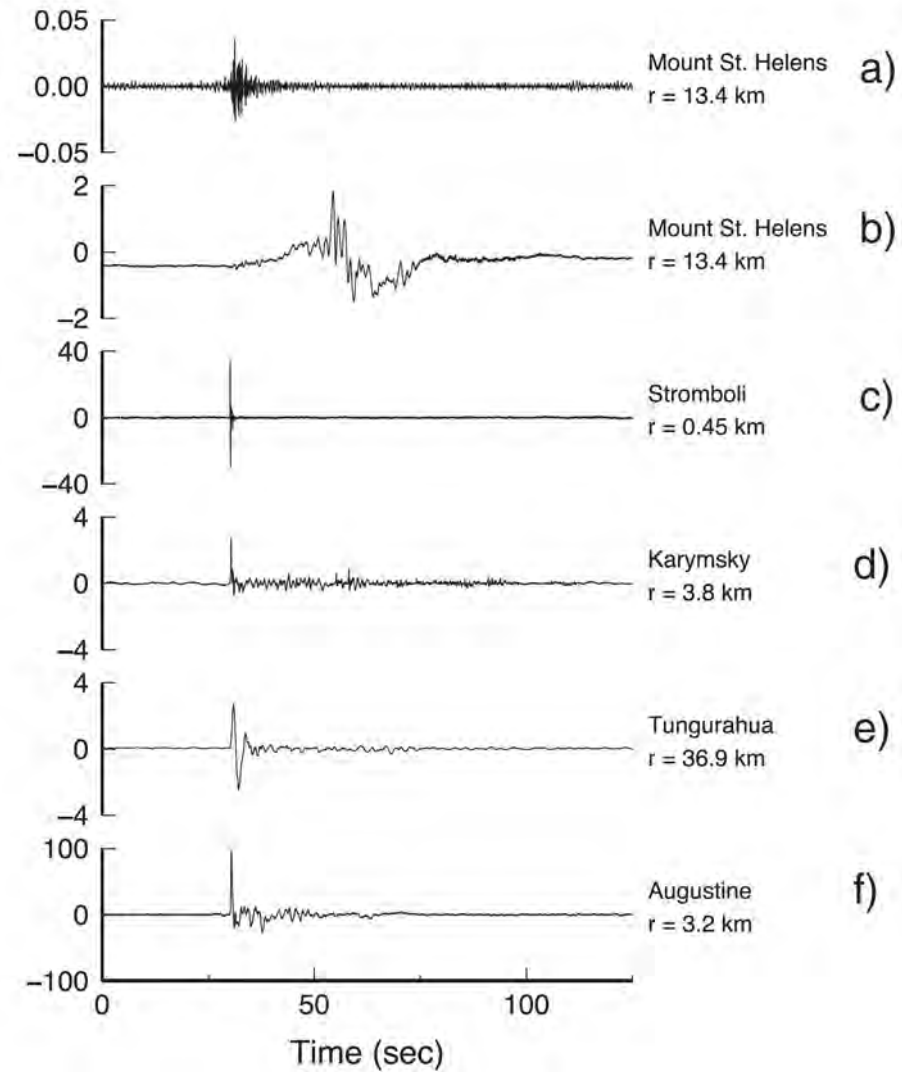
Garcés, et al., 1998

*“Model propagasi gelombang dengan pendekatan statistik BISL lebih efektif untuk pemantauan secara **real time**.”*

Blom, et al., 2015

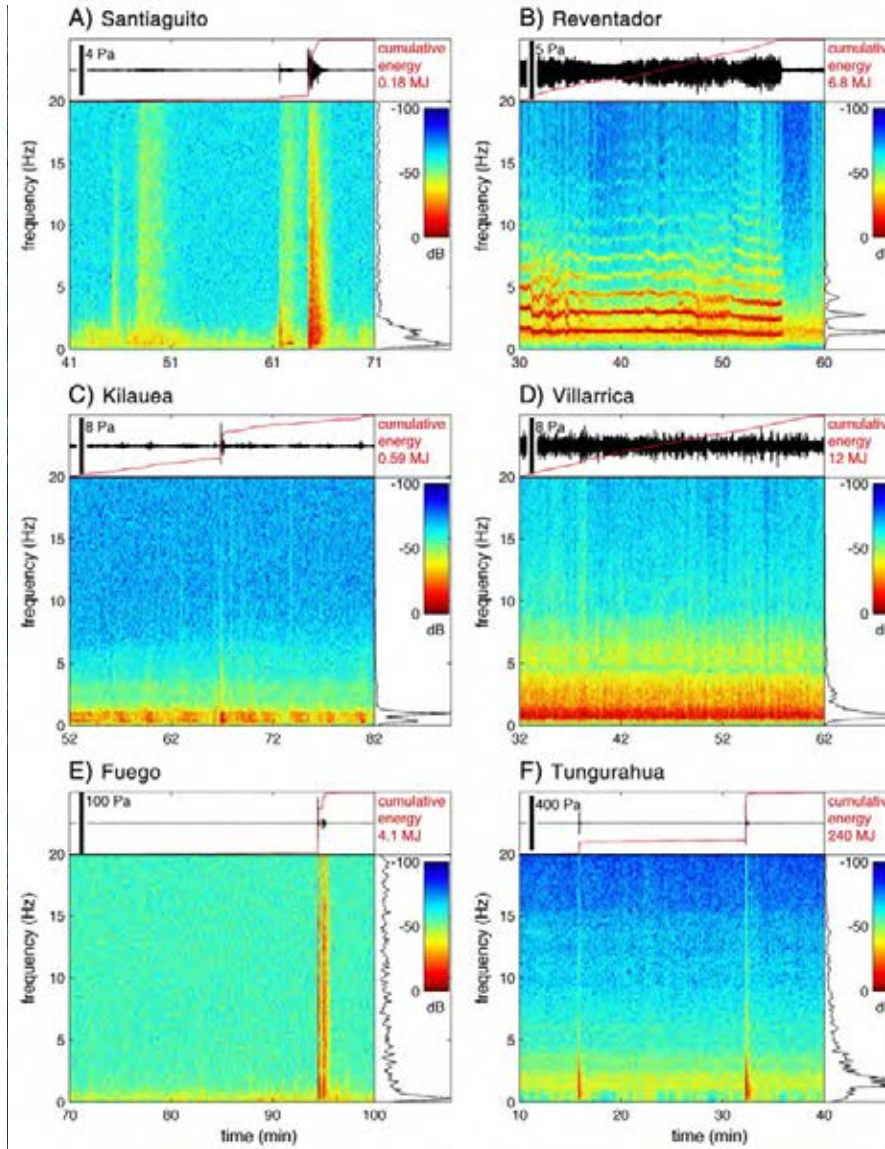
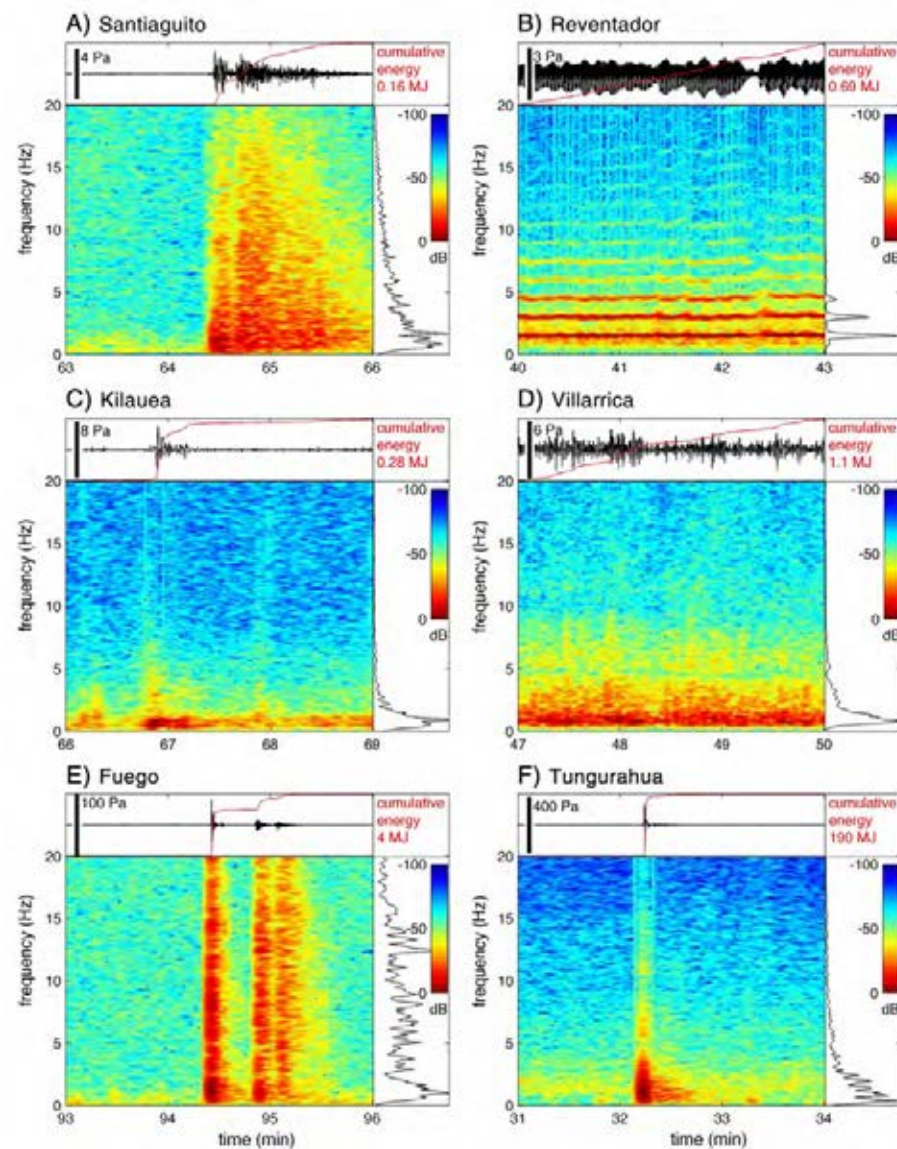


Gelombang Infrasound ranah waktu



Pemanantik (trigger waveform)

Fee, et al., 2011



PENELITIAN
SEBELUMNYA
Johnson, et al.,
2011

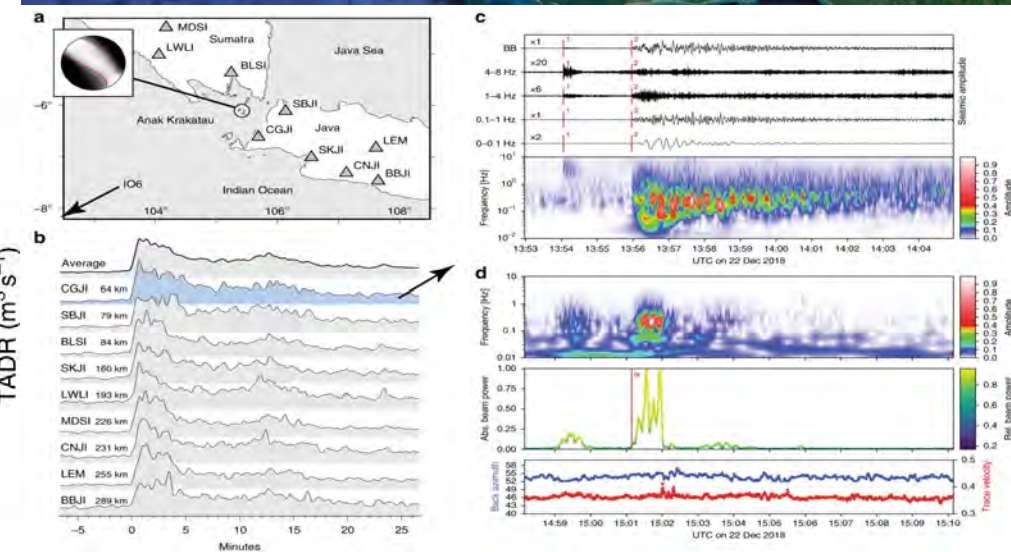
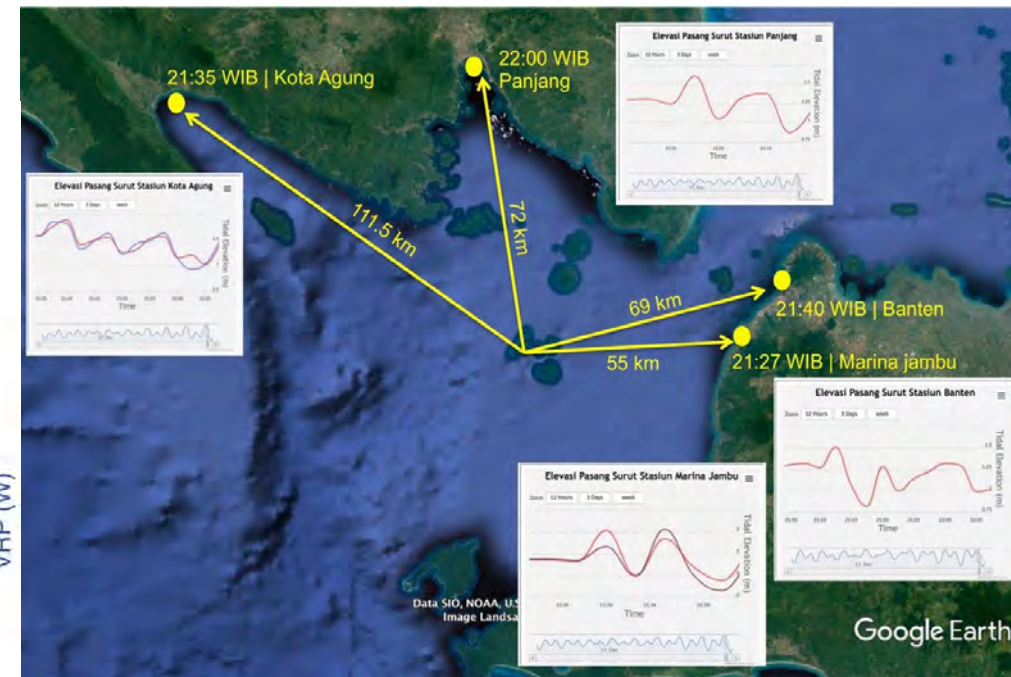
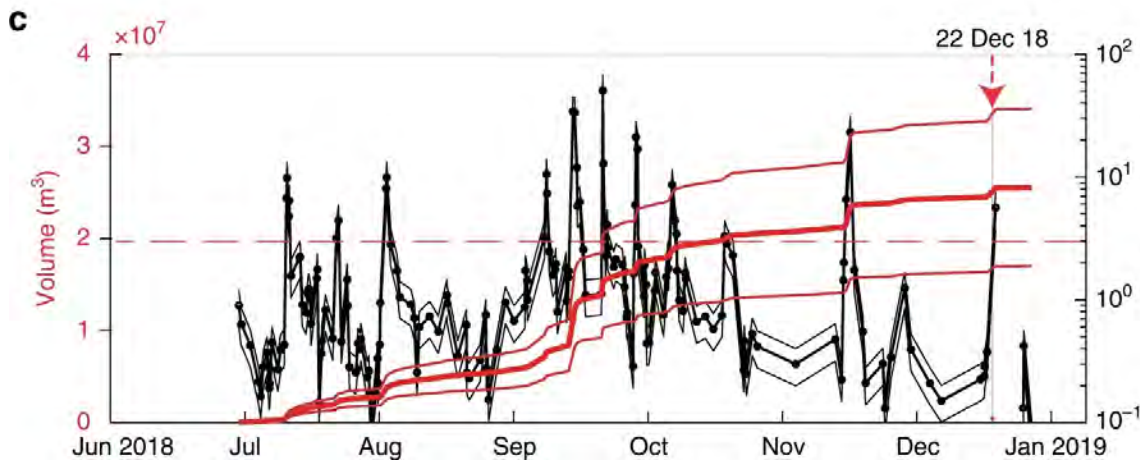
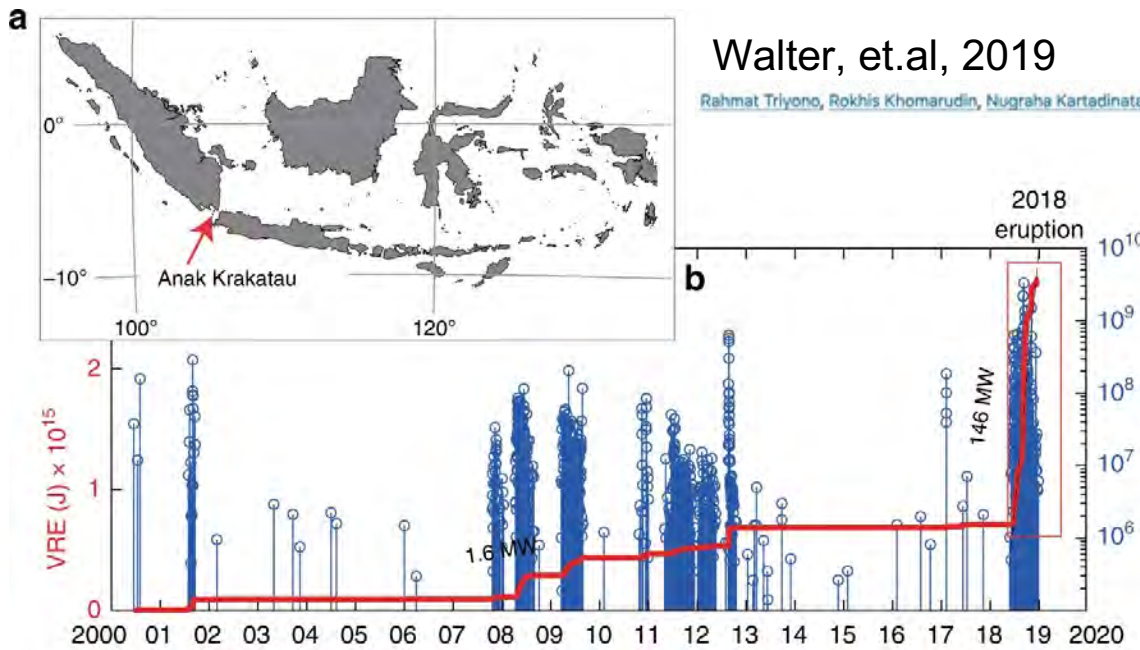
Energi infrasound (-3')

Energi infrasound (-30')

Studi Kasus : Tsunami GAK

Walter, et.al, 2019

Rahmat Triyono, Rokhis Khomarudin, Nugraha Kartadinata,



Adaptive F-Detektor (Arrowsmith et al, 2008)

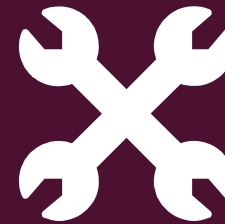
Mendeteksi kejadian yang berpotensi tsunami

Mengurangi jumlah *false alarm* dari *background noise* pada laut

Bayesian Infrasound Source Localization (BISL) (Blom et al, 2015)

Menggunakan pendekatan statistik tsunami

Mendeteksi arah datang infrasound yang berpotensi tsunami



TUJUAN PENELITIAN

Dapat mendeteksi tsunami berdasarkan sinyal *infrasound* menggunakan metode *adaptive F-Detector* dan arah datang menggunakan **Bayesian infrasound Source Localization (BISL)**.

STUDI LITERATUR

PRISMA DENGAN KATA KUNCI “LOCALIZATION” & “INFRASOUND”

SCIENCEDIRECT	:	374
GJI	:	139
JASA	:	163



Filter jurnal, *full access text*, kesesuaian judul

Q1	= 16 Artikel
Lain-lain	= 7 Artikel

PENGUMPULAN DATA

(Data Sekunder)



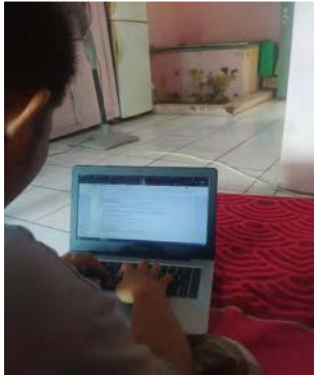
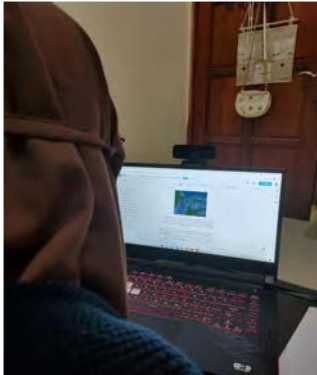
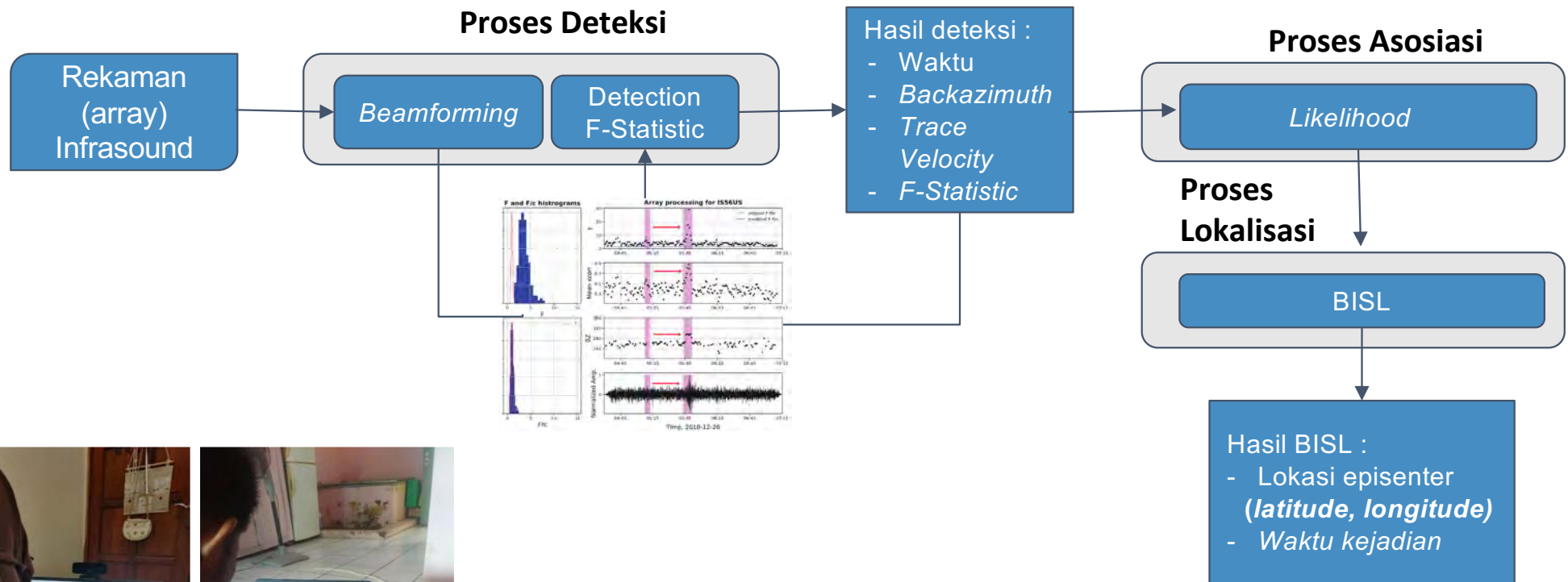
Incorporated Research Institutions for Seismology



**PEMILIHAN
LOKASI & WAKTU
UNDUH DATA
SENSOR**

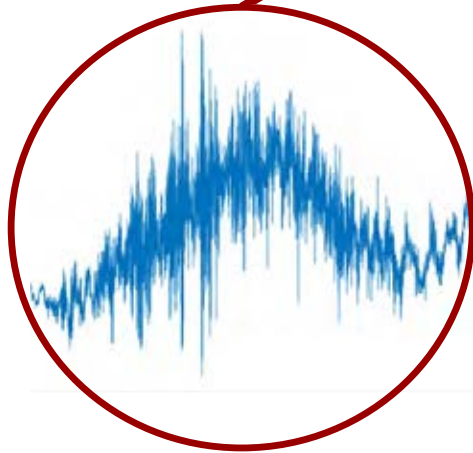
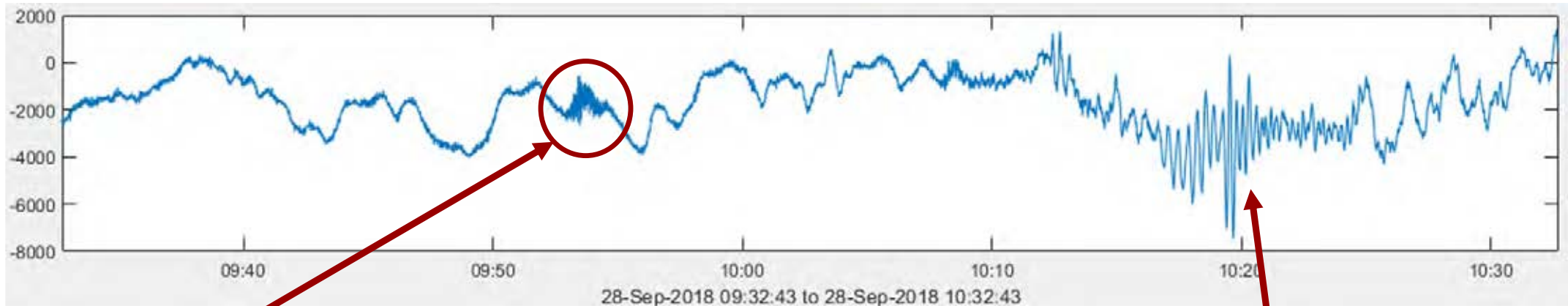
PENGOLAHAN DATA

Perangkat :



HASIL PENGOLAHAN SINYAL INFRASOUND

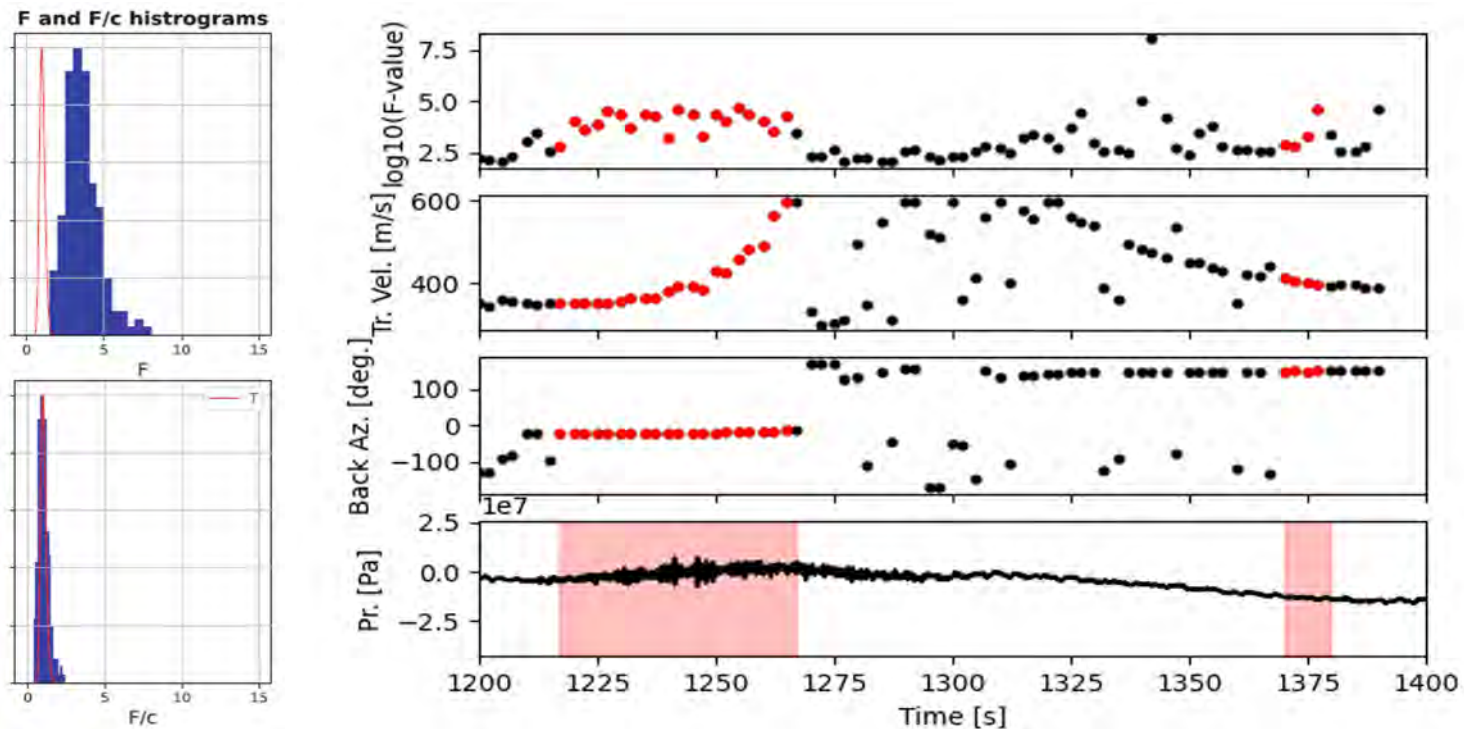
Data yang terekam di salah satu larik sensor (*array*) infrasound pada channel I07AU (Australia)



Pertanda kemungkinan akan terjadi sesuatu kejadian (event) antara pukul 09.53 - 09.56 UTC

Kejadian tsunami yang berhasil ditangkap oleh sensor sekitar pukul 10.20 UTC

HASIL PROSES DETEKSI PADA STASIUN I07AU MENGGUNAKAN F-DETEKTOR



Detection Summary:

Detection time: 2018-09-28T09:53:38.000000

-18.9801355958 Trace velocity: 455.902415153

Detection time: 2018-09-28T09:55:40.000000

147.685156444 Trace velocity: 396.966715423

Rel. detection onset: -38.0 Rel. detection end: 12.0

F-stat: 4.73521922259 Array dim: 4

Rel. detection onset: -7.0 Rel. detection end: 3.0

F-stat: 4.61102592732 Array dim: 4

Back azimuth:

Back azimuth:

HASIL PROSES LOKALISASI MENGGUNAKAN BISL

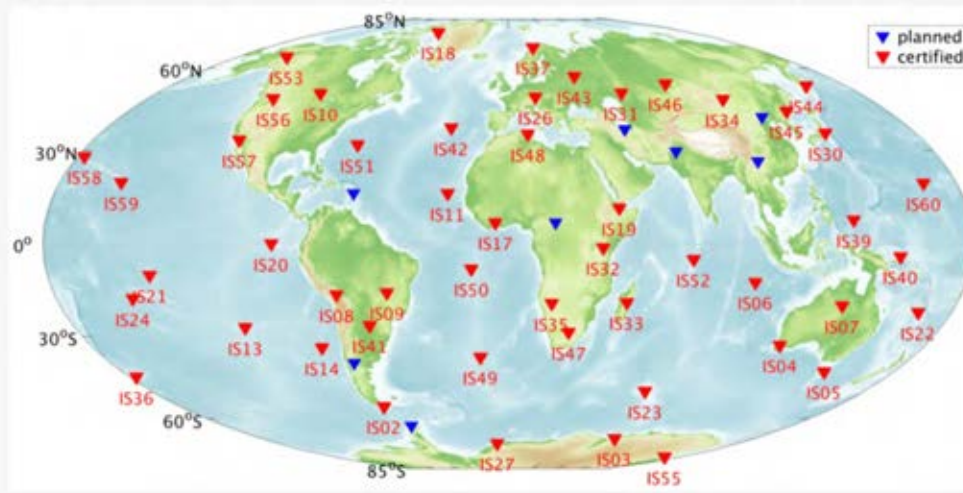


Event Time (2018-09-28)	Latitude	Longitude	Time (UTC)	95% Conf. area	95% Conf. duration
True Value	-0.178 °	119.840°	10:02: 43	-	-
Hasil BISL	0.603° ± 16.252 km	119.529° ± 10.586 km	09:47: 36	3238. 374 km ²	32.107 s

*Selisih longitude : 0.311°
 Selisih latitude : 0.781°*

*Algoritma BISL dapat
 memprediksi kejadian
 yang lebih cepat sekitar 15
 menit*

Figure 1. The International Monitoring System (IMS) infrasound network will consist of 60 stations distributed around the globe. As of June 2019, 51 stations have been certified.



2018-09-28 Mww7.5 Minahassa Peninsula, Sulawesi

Latitude	Longitude	Date	Depth	Magnitude	Description	Related Pages
0 1781° S	119.8401° E	2018-09-28 10:02:43 UTC	10.0 km	Mww7.5	Minahassa Peninsula, Sulawesi	IRIS Event Page

The map below shows stations operational during this event, filtered by the criteria in the form to the right.



Use the checkboxes below to add/remove individual stations from your request.

Request Only

Networks:

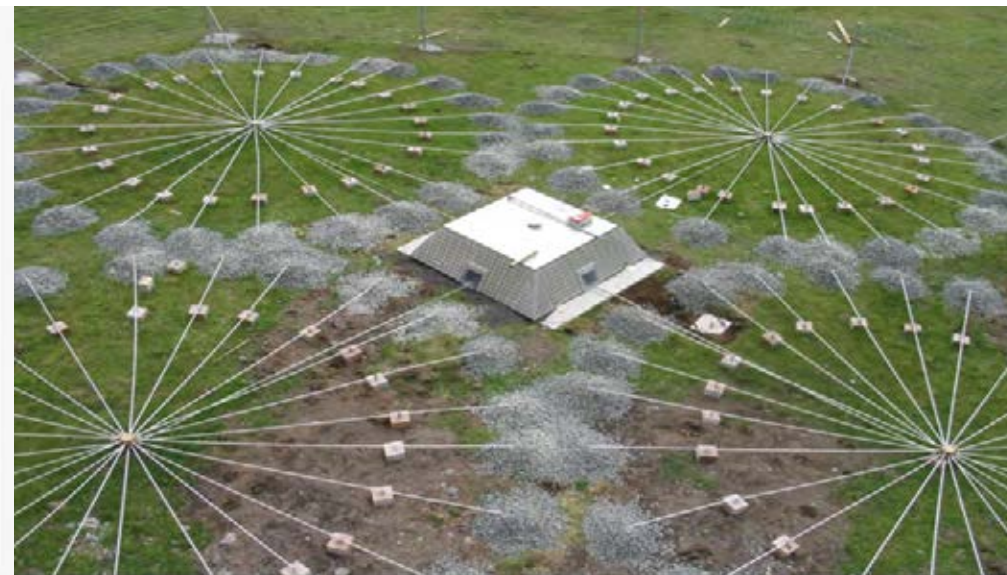
Channels:

Set default networks/channels

Distance Range: -

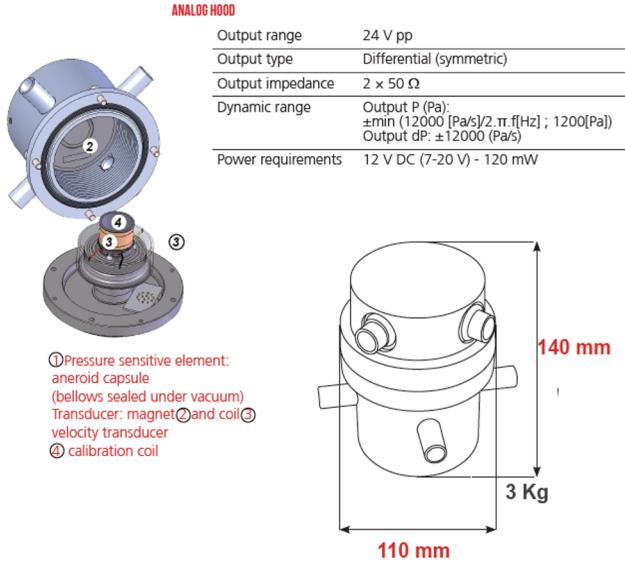
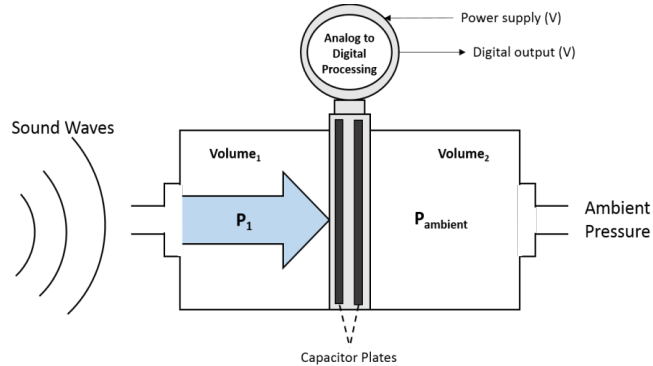
Azimuth Range: - ☐ Invert

Actions

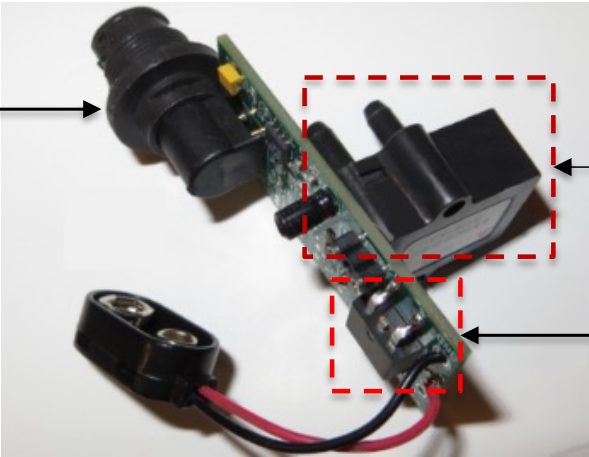


Infra-NMT Microphone (proposed)

Metric	Requirement	Infra-NMT
Frequency Response	0.1 – 20 Hz	0.01 – 40 Hz
Linear Dynamic Pressure Range	0.1 – 10 Pa	±124.5 Pa
Pressure Sensitivity	0.01 Pa	0.00063 Pa
Inherent Noise	0.006 Pa	0.00562 Pa _{rms}



Analog Voltage
Data Connection

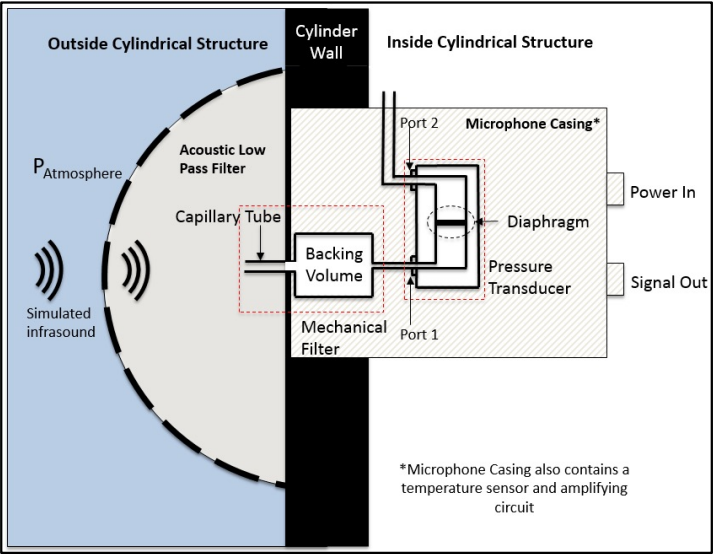


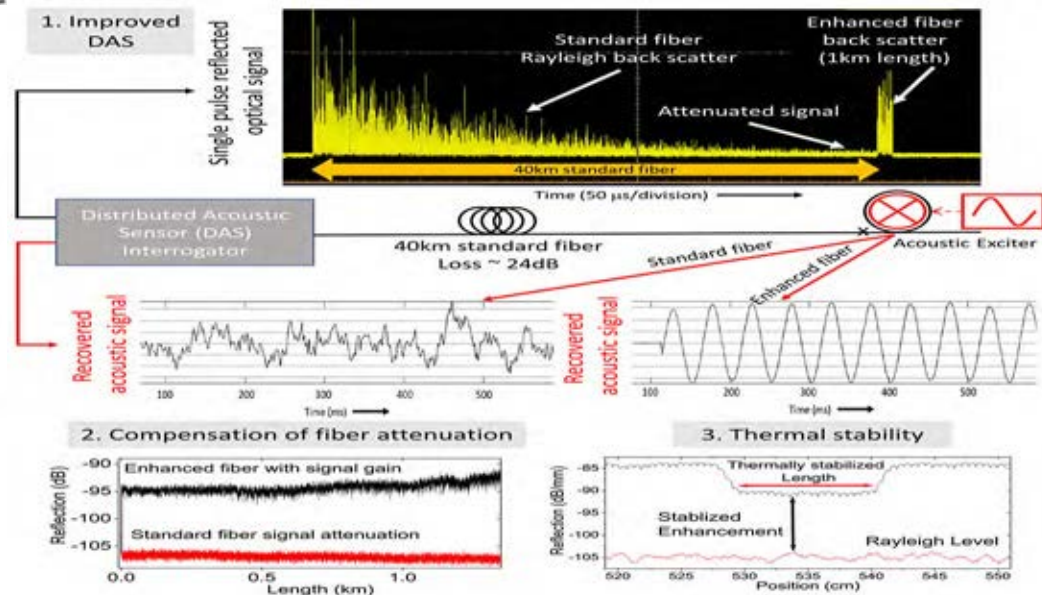
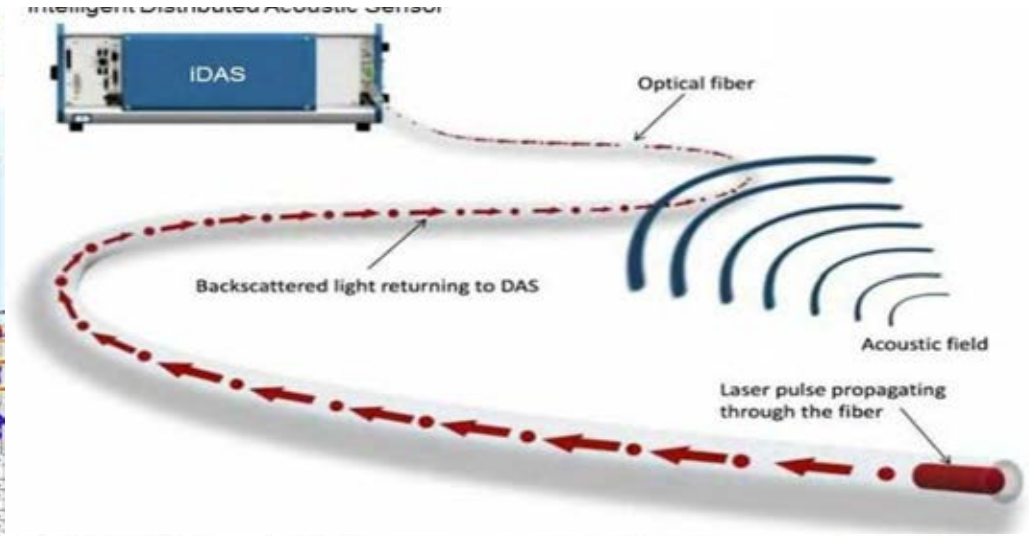
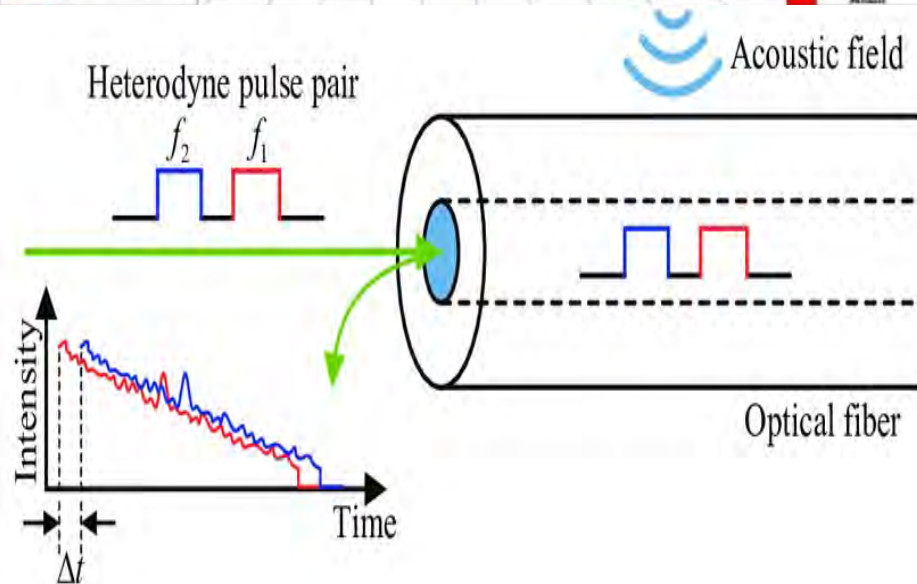
Differential Pressure
Transducer
(Allsensors.com 0.5-
INCH-D-MV)

Power
Regulator

[Marcillo & Johnson, 2012]

* Not Pictured: Mechanical Filter





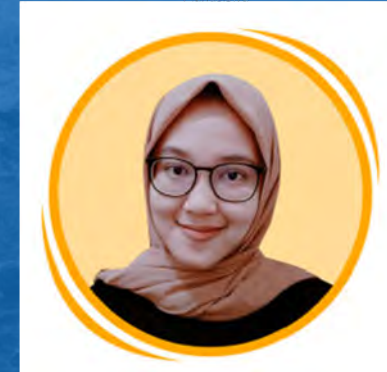
Distributed Acoustic Sensor (DAS) using Dark Fiber



Haris Ihsannur
(02311840000086)



Muhammad Rafif Radityo
(02311740000107)



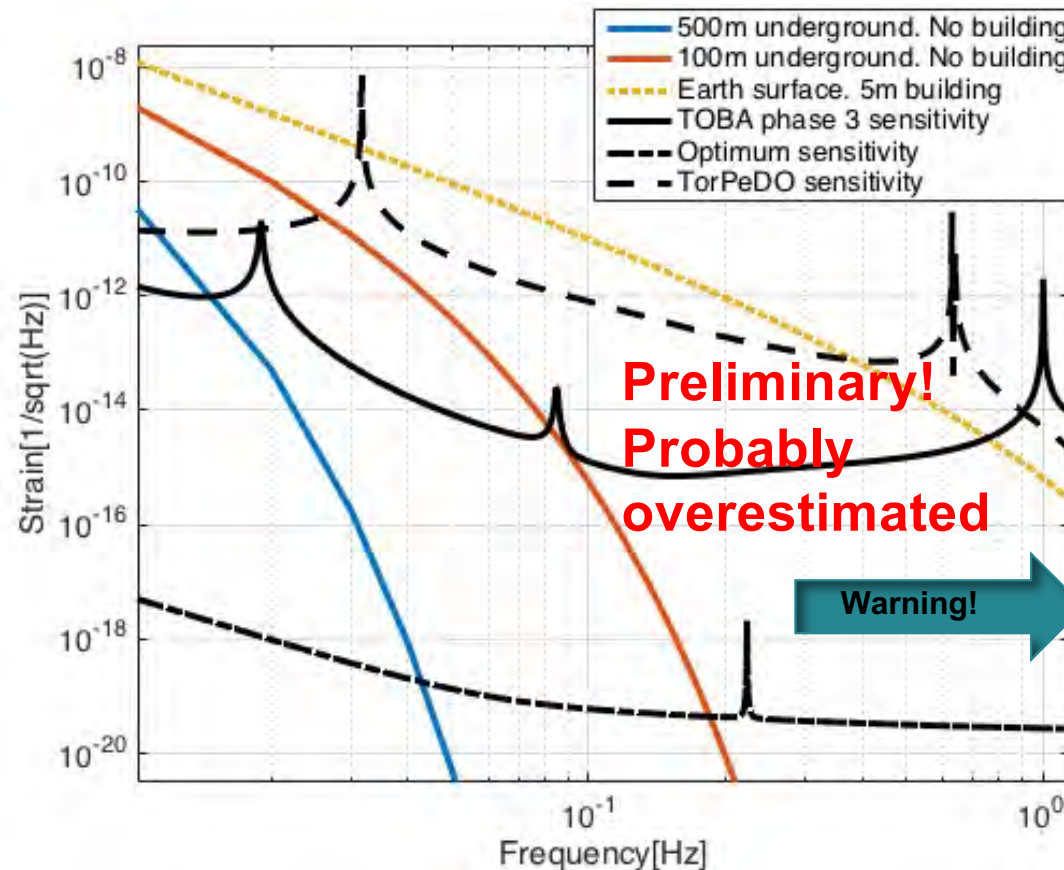
Bernadeta Naftania Eka Rini
(02311840000005)

TERIMA KASIH

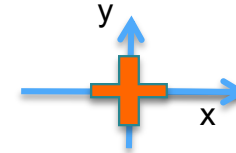
*...Deteksi tsunami sejak dini
Selamatkan nyawa bumi pertiwi...*

Temperature fluctuation NN-TOBA

Wind speed, $v=10\text{m/s}$, along the x axis



TOBA orientation



Turbulent mixing theory breaks down at $f \leq \text{few tens of mHz}$ ¹

Gravimeter data show that this noise is overestimated by few orders of magnitude at 10mHz ²

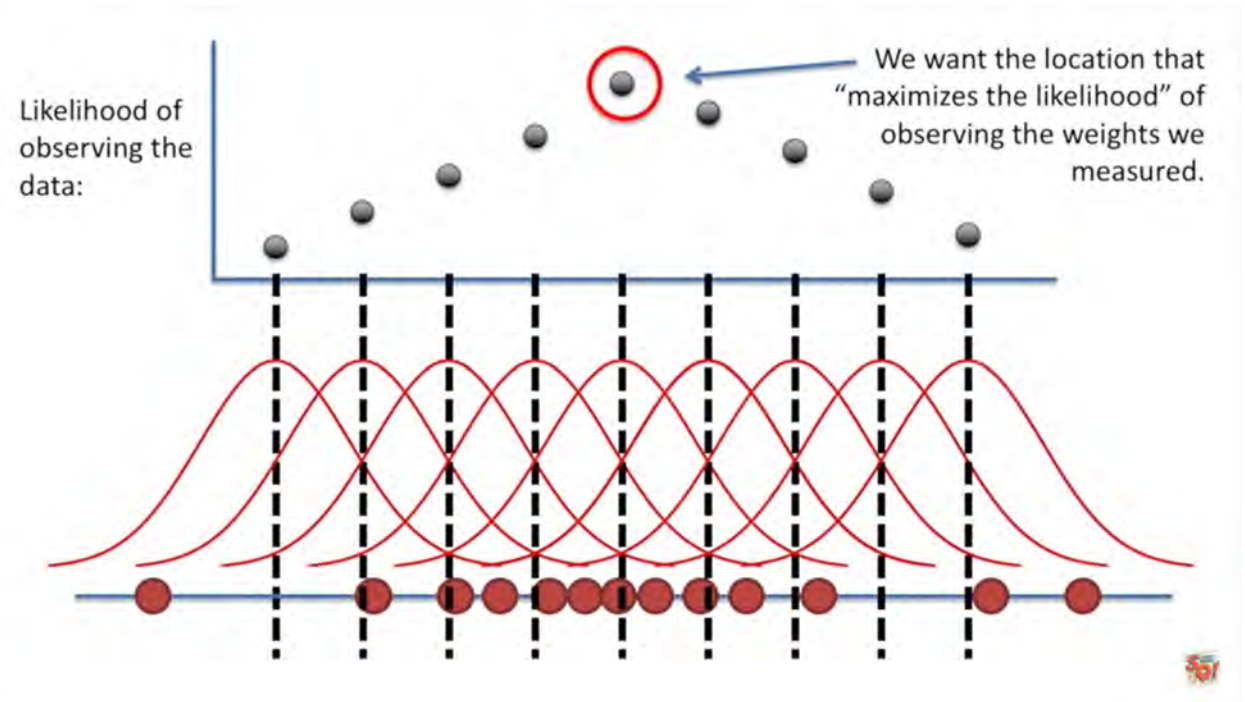
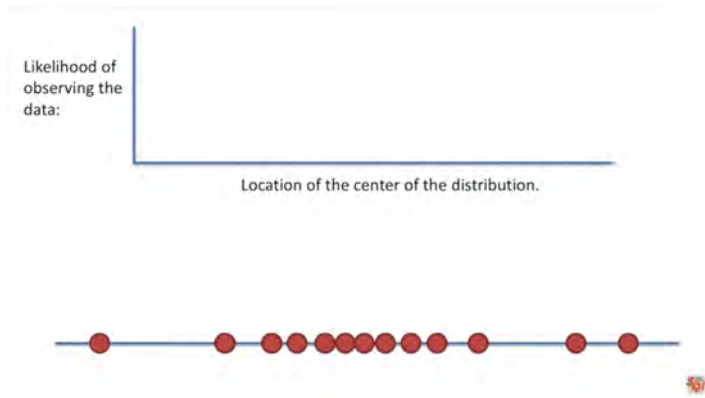
Validity of the model for $10 \text{ mHz} < f < \text{hundreds of mHz}$ must be checked

Model should be ok (but simplified) for $f \geq 1 \text{ Hz}$.

¹ Kukharets, V.P. and Nalbandyan, H.G. *Izv., Atmos. Ocean. Phys.*, 42, (2006)

² Hinderer, Crossley, Warburton, *Gravimetric Methods*, 2007 Elsevier B.V.

LIKELIHOOD



Buoy Tsunami Rusak Sejak 2012 karena Aksi Vandalisme

Senin 01 Oct 2018 18:49 WIB

Rep: Rr Laeny Sullistyawati/ Red: Ichsan Emrald Alamisyah



Tim SAR berusaha mengevakuasi korban yang masih tertimbun reruntuhan di Hotel Rnana, Palu, Sulawesi Tengah, Senin (1/10).

Foto: Antara/Basri Marzuki

sumber gambar :
<https://republika.co.id/berita/nasional/daerah/18/10/01/pfx4u7349-buoy-tsunami-rusak-sejak-2012-karena-aksi-vandalisme>

Polisi Sebut Rusaknya Buoy di Palu Akibat Ulah Vandalisme

SAH & Tim, CNN Indonesia | Kamis, 04/10/2018 02:09 WIB

Bagikan :  

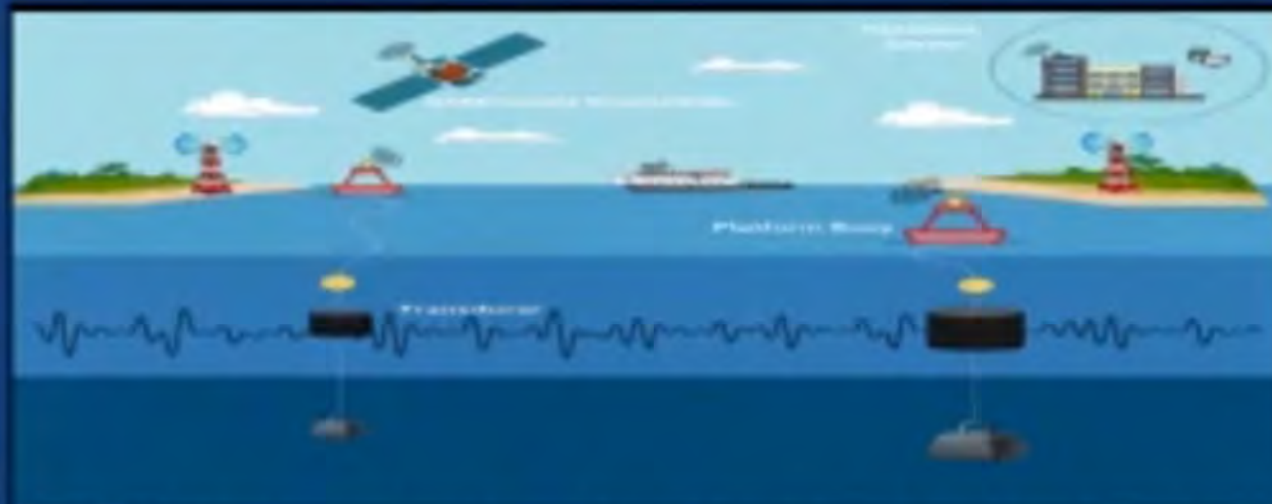


Ilustrasi buoy. (Istockphoto/DigiClicks)

sumber gambar :
<https://www.cnnindonesia.com/nasional/20181003195533-12-335469/polisi-sebut-rusaknya-buoy-di-palu-akibat-ulah-vandalisme>

	Advantages	Disadvantages
Seismic Monitoring	Volume monitoring	Not a direct displacement or stress measurement
	Better access	Event parameters interpretation is needed for displacement and stress measurement
	Cave evolution monitoring	Still an evolving technology
	Failure mechanism monitoring	Interpretation techniques are largely empirical
		Uncertainty in interpretation

(Yousef, 2013) Application of Seismic Monitoring in Caving Mines - Case Study of Telfer Gold Mine



Indonesia Coastal Acoustic Tomography (InaCAT)

- InaCAT diterapkan dan dikembangkan → **melengkapi** kemampuan sistem observasi InaBuoy dan InaCBT dalam mendeteksi dini gelombang tsunami.
- Inovasi teknologi akustik tomografi:
 - sistem peringatan dini tsunami yang dapat **menangkap sinyal arus yang dibangkitkan oleh tsunami frekuensi tinggi** (> 20 m/s)
 - Analisa **inversi rambatan gelombang suara** bawah permukaan
 - Mengukur **perubahan muka laut** akibat adanya tsunami dan juga **kecepatan radial** ketika bergerak menuju pantai
- Kelebihan metoda ini:
 - **Memperluasnya bidang tangkapan/deteksi gelombang tsunami** dibandingkan dengan penempatan sensor pasang surut yang berada pada 1 titik lokasi.
 - **Lokasi penempatan di sekitar pesisir** sehingga diharapkan lebih terjaga dari segi keamanan alat → **bekerja sama dengan masyarakat pesisir.**

BEAMFORMING



Teknik beamforming delay-and-sum menggunakan beberapa *infrasound array* untuk melokalisasi sumber suara. Penyesuaian posisi atau jumlah infrasound mengubah kinerja beamformer secara nonlinier. Secara komputasi sulit untuk menemukan konfigurasi susunan infrasound terbaik. Salah satu teknik untuk memecahkan masalah ini adalah penggunaan algoritma genetika. Algoritma tersebut mencari konfigurasi susunan infrasound yang memberikan **rasio signal-to-noise** tertinggi untuk setiap orientasi yang diarahkan.

TEKNIK BISL

$$\begin{array}{c}
 \text{Posterior} \\
 \downarrow \\
 P(A|B) = \frac{
 \begin{array}{c}
 \text{Likelihood} \\
 \downarrow \\
 P(B|A) * P(A) \\
 \downarrow \\
 \text{Prior}
 \end{array}
 }{
 \begin{array}{c}
 \uparrow \\
 P(B) \\
 \text{Evidence}
 \end{array}
 }
 \end{array}$$

$$P(H|\{\mathcal{D}\}) = \frac{\prod_j P(\mathcal{D}_j|H)}{\int \prod_j P(\mathcal{D}_j|H') P_0(H') dH'} P_0(H),$$

$$\mathcal{D}_j = \{x_j, y_j, \tau_j, \varphi_j\}.$$

$$H = \{x_s, y_s, \tau_s, v_s\}$$

- informasi awal (prior)
- tambahan informasi dari data (likelihood)
- informasi terbaru (posterior).

x_j, y_j = lokasi array infrasound

τ_j = waktu kejadian yang ditangkap array

φ_j = backazimuth

x_s, y_s = lokasi sumber gempa

τ_s = waktu terdeteksi

v_s = kecepatan propagasi gelombang dari sumber menuju array

Terdapat 170 seismeter yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia serta jaringan internasional untuk mendeteksi adanya gempa bumi. Seismeter-seismeter itu dapat terhubung langsung ke ruang operasional peringatan informasi gempa bumi dan peringatan dini tsunami di BMKG

tahapan saat diterimanya informasi gempa bumi dari seismeter baik yang tidak maupun berpotensi tsunami sebelum memberikan informasi kepada publik. Terjadinya gempa bumi akan terlihat, diterima dan diolah datanya di alat bernama D1 Seismic Processing System (seiscomp3). Dalam pengolahan data tersebut pihaknya akan mendapatkan informasi terkait titik gempa dan besar getaran gempa bumi tersebut.

Kemudian, dari hasil data D1 Seismic Processing System tersebut jika getarannya melebihi Magnitudo 7 akan langsung terhubung ke alat D2 Back up Toast. Gempa dengan guncangan lebih dari M 7 tersebut akan diolah kembali apakah guncangan tersebut berpotensi tsunami.

Setelah hasilnya terlihat kemudian BMKG akan menginformasikan terkait terjadinya gempa bumi di suatu lokasi dan peringatan dini potensi tsunami di wilayah terdekat titik terjadinya gempa.

Sedangkan guncangan yang skala angkanya di bawah Magnitudo 5 akan langsung terhubung datanya ke D4 Dissemination System. Informasi itu akan langsung dipublikasikan terkait titik gempa dan skala angka guncangan tersebut.

Selanjutnya, ketika sudah munculnya informasi guncangan dengan skala tinggi dan peringatan potensi tsunami di daerah terdekat titik gempa. Kemudian kita kasih warning peringatan tsunami di lima menit pertama. Jadi informasi gempa bumi sekaligus peringatan tsunami mana-mana yang harus diwaspadai. Pihaknya akan memantau alat bernama D5 Non Seismic Monitoring. Alat ini terhubung dengan pemantau tsunami seperti; tide gauge, buoy, atau GPS.

Magnitudo gempa adalah sebuah besaran yang menyatakan secara jelas tentang seberapa besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber **Gempa**. Besaran ini akan bernilai sama, sekalipun dihitung dari tempat yang berbeda. Skala yang kerap digunakan untuk menyatakan magnitudo gempa ini adalah **Skala Richter** (*Richter Scale*). Secara umum, magnitudo dapat dihitung menggunakan formula berikut:

$$M = \log \frac{a}{T} + f(\Delta, h) + C_S + C_R$$

- M adalah magnitudo, a adalah amplitudo gerakan tanah (dalam mikrometer)
- T adalah periode gelombang
- Δ adalah jarak pusat gempa atau episenter
- h adalah kedalaman gempa
- C_S
- C_R adalah faktor koreksi yang bergantung pada kondisi lokal & regional daerahnya

Formula Gempa

$$\log E = 4,78 + 2,57m_b$$

Misal : magnitudo $m_b = 6.8$.

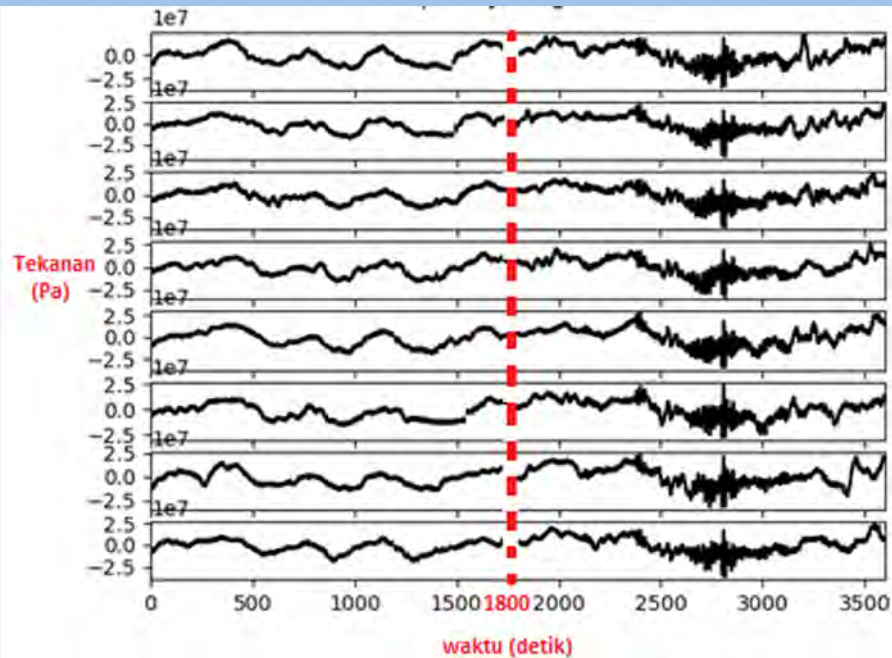
Maka $E = 10^{22} \text{ erg} = 10^{15} \text{ joule} = 278 \text{ juta kWh}$.

Apabila gempa dengan magnitudo 7.8, energinya menjadi kurang lebih 30 kali lipat dari itu ($30 \times 278 \text{ juta kWh}$).

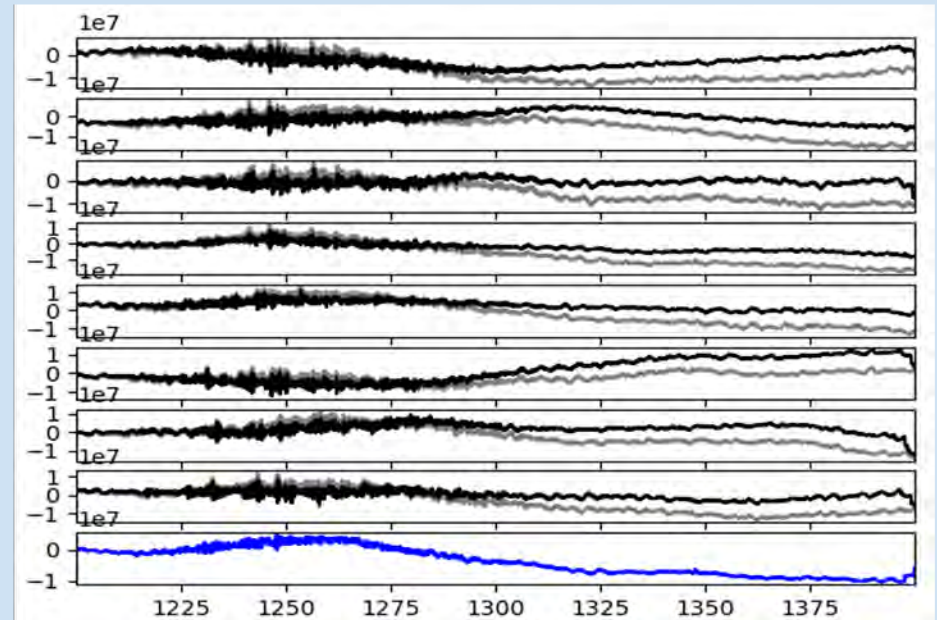
Penyebab terjadinya gempa bumi

Kebanyakan gempa Bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang disebabkan oleh lempengan bumi yang bergerak ke satu arah atau bisa juga lebih. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan di mana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa Bumi akan terjadi.

Pergeseran lempeng bumi dapat mengakibatkan gempa bumi karena dalam peristiwa tersebut disertai dengan pelepasan sejumlah energi yang besar. Selain pergeseran lempeng bumi, gerak lempeng bumi yang saling menjauhi satu sama lain juga dapat mengakibatkan gempa bumi. Hal tersebut dikarenakan saat dua lempeng bumi bergerak saling menjauh, akan terbentuk lempeng baru di antara keduanya.



Data gelombang infrasound yang ditangkap oleh tiap-tiap *array*



Proses pertama yaitu *array processing*. Pada proses ini, digunakan teknik *Beamforming*. Beamforming merupakan suatu teknik pemrosesan sinyal yang digunakan dalam sensor array untuk menerima sinyal dari suatu arah tertentu.