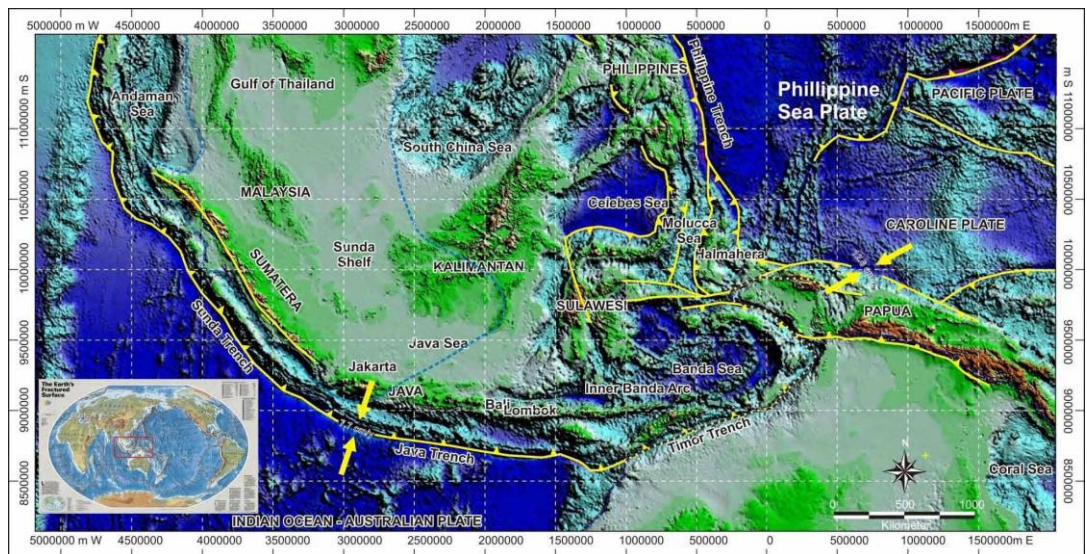


II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara geologi Nusatenggara berada pada Busur Banda. Rangkaian pulau ini dibentuk oleh pegunungan vulkanik muda. Pada teori lempeng tektonik, deretan pegunungan di Nusatenggara dibangun tepat di zona subduksi Indo-Australia pada kerak samudra dan dapat diinterpretasikan kedalaman magmanya kira-kira mencapai 165-200 km sesuai dengan Peta Tektonik Hamilton (1979).



Gambar 1. Peta Tektonik Indonesia (Hamilton, 1997).

Lempeng tektonik kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng utama diantaranya Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik. Interaksi

dari ke tiga lempeng tersebut menimbulkan kompleks tektonik khususnya di perbatasan lempeng yang terletak di timur Indonesia.

Sebagian besar busur dari kepulauan Nusatenggara dibentuk oleh zona subduksi dari Lempeng Indo-Australia yang berada tepat di bawah Busur Sunda-Banda selama di atas kurun waktu Tersier yang mana subduksi ini dibentuk di dalam busur vulkanik kepulauan Nusatenggara.

Sesuai dengan teori tektonik lempeng, Nusatenggara dapat dibagi menjadi menjadi 4 struktur tektonik, yaitu busur belakang yang terletak di Laut Flores, busur dalam yang dibentuk oleh kepulauan vulkanik di antaranya Bali, Lombok, Sumbawa, Cómodo, Rinca, Flores, Andora, Solor, Lomblen, Pantar, Alor, Kambing dan Wetar. Busur vulkanik luar yang dibentuk oleh kepulauan non-vulkanik diantaranya Dana, Raijua, Sawu, Roti, Semau dan Timor, dan dibagian depan busur dibagi kedalam dua bagian, yaitu *inner arc* (busur dalam) dan *outer arc* (busur luar) dan bagian dalam ialah lembah yang dalam di antaranya Lembah (*Basin*) Lombok dan Sawu.

Bagian Timur Nusatenggara mulai dari Alor-Kambing-Wetar-Romang, disebut *orogene* Timur dengan pusat undasi di L. Flores. Evolusi orogenik daerah Nusatenggara bagian timur ini hampir kompleks karena pada masa Mesozoikum muda terjadi penggelombangan yang termasuk Sirkum Australia menghasilkan busur dalam dari P. Sumba ke arah timur laut dan busur luar melalui P. Sawu ke timur laut, Namun memasuki periode tersier daerah ini mengalami penggelombangan dengan pusat undasi di Laut Flores sebagai bagian dari sistem Pegunungan Sunda. Keganjilan-keganjilan yang nampak seperti posisi pulau Sumba di *interdeep*, garis arah Busur Luar Rote-

Timor ke arah timur laut dan sebagiannya. Menurut Van Bemmelen adalah warisan dari evolusi Geologis terdahulu yang tidak dapat dikaitkan dengan sistem penggelombangan masa tersier dari Pegunungan Sunda.

Wilayah Propinsi Nusatenggara Timur termasuk dalam kawasan *Circum – Pacifik* sehingga daerah ini, terutama sepanjang Pulau Flores, memiliki struktur tanah yang labil (sering terjadi patahan). Pulau – pulau seperti Pulau Flores, Alor, Komodo, Solor, Lembata dan pulau– pulau sekitarnya terbentuk secara vulkanik, sedangkan pulau Sumba, Sabu, Rote, Semau, Timor, dan pulau sekitarnya terbentuk dari dasar laut yang terangkat ke permukaan. Dengan kondisi ini, maka jalur pulau – pulau yang terletak pada jalur vulkanik dapat dikategorikan subur, namun sering mengalami bencana alam yang dapat mengancam kehidupan penduduk yang menetap di daerah tersebut.

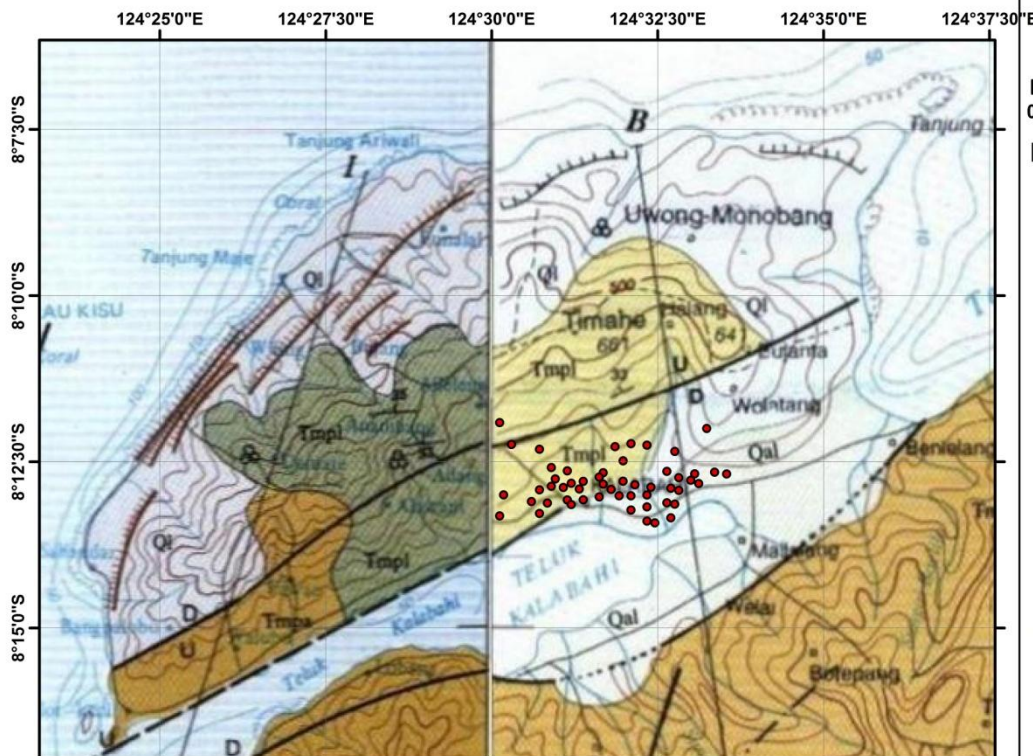
Propinsi Nusatenggara Timur juga memiliki berbagai macam deposit, baik mineral maupun sumber – sumber energi lainnya. Hampir 100 lokasi di daerah ini mengandung mineral dari sumber energi bumi/bahan bakar minyak, seperti di Pulau Sumba, Timor dan di sepanjang Pantai Flores bagian timur. Sumber energi dapat dikembangkan dari sungai-sungai besar, seperti Noelmina, Benanain, Aesesa dan sungai Kambaniru. Mineral yang terkandung di propinsi ini adalah: Pasir Besi (Fe), Mangan (Mn), Emas (Au), Flourspor (Fs), Barit (Ba), Belerang (S), Fosfat (Po), Zeolit (Z), Batu Permata (Gs), Pasir Kwarsa (Ps), Pasir (Ps), Gypsum (Ch), Batu Marmer (Mr), Batu Gamping, Granit RTRW Propinsi Nusatenggara Timur 2006-2020 II - 2 (Gr),

Andesit (An), Balsitis, Pasir Batu (Pa), Batu apung (Pu), Tanah Diatomea (Td) Lempung/Clay (Td).

Tatanan stratigrafi daerah penelitian terdiri dari Formasi Alor. Pada Formasi Alor terdapat lafa dan breksi bersisipan tuf, menjemari dengan Formasi Laka (Tmpl) yang terdiri dari tuf gampingan, tuf pasiran bersisipan konglomerat, napal dan batugamping. Umurnya adalah Miosen Akhir hingga Pliosen Awal. Formasi Alor tersebar cukup luas, hampir meliputi seluruh Pulau Alor dan Pulau Wetar, sedangkan Formasi Laka hanya tersebar di Pulau Alor, yaitu di Tg. Kebola dan sebelah utara Teluk Kalabahi. Kedua formasi tersebut ditindih tak selaras oleh hasil endapan Gunungapi tua (QTv) yang terdiri dari lava, breksi dan tuf pasiran berbatuapung. Hasil endapan gunungapi tua (QTv) diduga berumur Pliosen Akhir hingga Plistosen Awal. Batuan yang termasuk muda adalah batugamping koral (Ql), endapan danau (Qalk) serta aluvium dan endapan pantai (Qal).

Batugamping Koral (Ql) terdiri dari batugamping dan breksi koral. Batugamping koral berwarna putih kekuning-kuningan, padat, mencapai 350 m di atas muka laut terdapat di Pantai utara Tanjung Kebola membentuk undak. Breksi koral berwarna putih kekuning-kuningan sampai coklat, agak padat, memiliki komponen yang berukuran 2-5 cm, menyudut sampai menyudut tanggung. Umur satuan batugamping Koral diduga Holosen, ditindih tak selaras oleh aluvium (Qal) satuan ini tersingkap di sepanjang pantai utara bagian tengah dan pantai timur Tg. Kebola, pantai utara dan sebagian pantai selatan Wetar Barat, P. Reong, P. Karang Nautilus dan barat P. Kambing.

PETA GEOLOGI DAERAH PENELITIAN



Index Peta

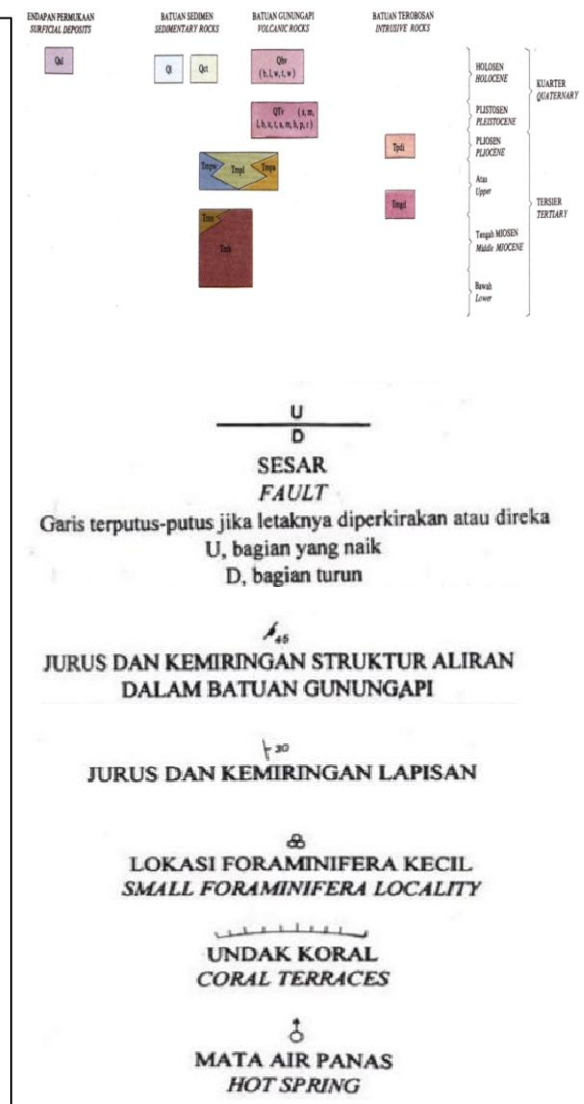
Sumber Peta
1. Peta Geologi Lembar Lombok dan Wetar Barat

Disusun Oleh:
Achmadi Hasan Nasution

Keterangan

- Titik Pengukuran

<ul style="list-style-type: none"> Qal ALUVIUM <i>ALLUVIAL</i> Obv BATUAN GUNUNGAPI MUDA <i>YOUNG VOLCANIC PRODUCTS</i> Qct UNDAK PANTAI <i>TERRACES</i> Ql BATUCAMPING KORAL <i>CORALLINE LIMESTONE</i> Qlv BATUAN GUNUNGAPI TUA <i>OLD VOLCANIC PRODUCTS</i> Tpd DIORIT <i>DIORITE</i> Twpv FORMASI WAHEKANG <i>WAHEKANG FORMATION</i> Tmpl FORMASI LAKA <i>LAKA FORMATION</i> Tmva FORMASI ALOR <i>ALOR FORMATION</i> Tmk FORMASI KIRO <i>KIRO FORMATION</i> Tmva FORMASI NANGAPANDA <i>NANGAPANDA FORMATION</i> Tngl GRANODIORIT <i>GRANODIORITE</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Kerakal dan kerakal andesit, diorit, basal serta granodiorit; pasir, lempur dan lumpur <i>Gravels and pebbles of andesites, diorites and granodiorites; sands, silts and muds</i> Lava, aglomerat, bom, kerikil, pasir dan abu gunungapi <i>Lavas, agglomerates, bombs, gravels, sands and volcanic ashes</i> Persebaran konglomerat dan batupasir kasar, sedikit gampingan <i>Interbedded between conglomerates and coarse sandstone, slightly calcareous</i> Batugamping koral <i>Coraline limestone</i> Lava, breksi, aglomerat, tufa, pasir gunungapi, dan tufa pasiran berbatapung <i>Lavas, breccias, agglomerates, tuffs, volcanic sands and pumiceous sandy tuffs</i> Diorit kuasa <i>Quartz diorite</i> Batugamping, batupasir gampingan, setempat bersisipan breksi halus dan konglomerat. <i>Limestone, calcareous sandstone, locally calcareous tuffs intercalations.</i> Tufa pasiran, breksi tufan, setempat bersisipan batugamping pasiran dan batupasir tufan. <i>Sandy tuffs, tuffaceous breccias, locally sandy limestones and tuffaceous sandstone intercalations.</i> Granodiorit <i>Granodiorite</i>
--	--



Gambar 2. Peta geologi dan titik pengukuran MASW (Koesoemadinata, dkk., 1997).

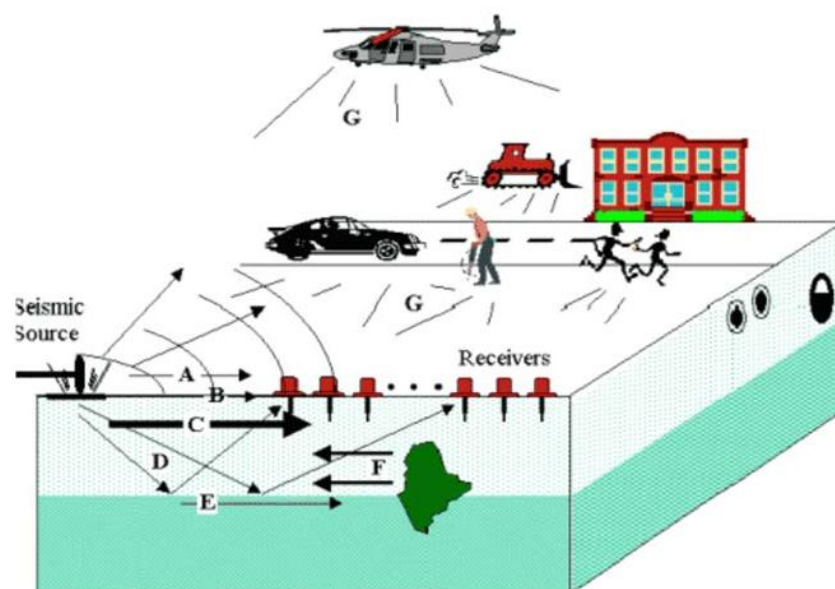
2.2 Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

Metode MASW merupakan metode yang memanfaatkan fenomena dispersi gelombang permukaan yang bertujuan untuk mengevaluasi karakter suatu medium solid. Secara umum metode MASW akan mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Panjang gelombang berhubungan dengan kedalaman, panjang gelombang akan berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Pengukuran MASW membutuhkan sumber seismik aktif dan atau pasif untuk menghasilkan gelombang permukaan dengan 12 sampai 24 rangkaian geopon. Geopon menerima dan mengukur hasil rekaman yang ditimbulkan pada beberapa jarak dari sumber getaran. Tiap geopon mengandung banyak gelombang permukaan, masing-masing dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. MASW memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode seismik lainnya antara lain :

1. Non eksplosif, sehingga tidak merusak lingkungan.
2. Lebih murah karena tidak diperlukan pengeboran.
3. Peralatannya mudah dibawa dengan tenaga manusia
4. Dapat digunakan survei dangkal maupun mencapai ratusan meter.
5. Mudah dalam menentukan persebaran nilai rata-rata V_{s30} untuk menentukan jenis tanah (seperti pada penelitian yang penulis lakukan).

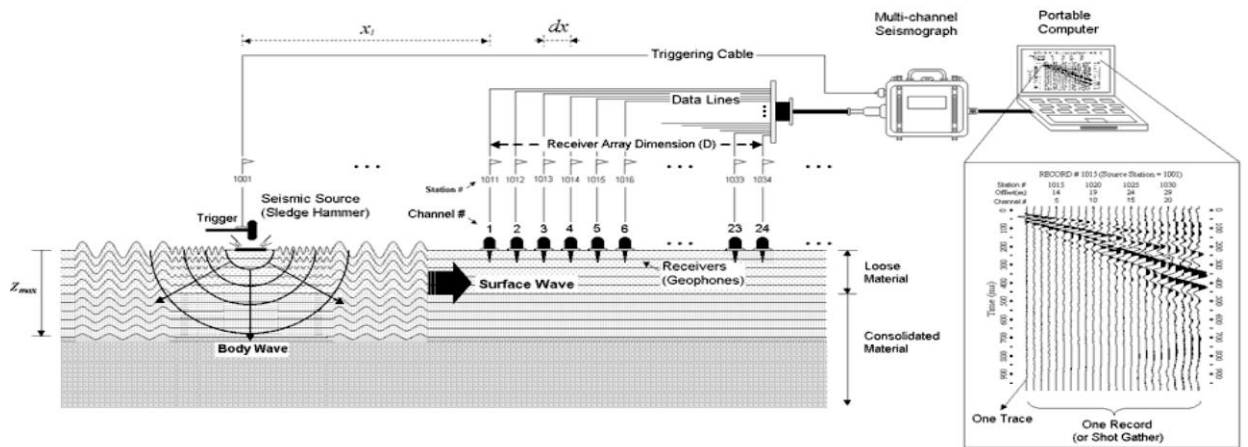
2.2.1 Metode MASW Pasif dan Aktif

Metode MASW dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu metode MASW aktif dan Metode MASW pasif. Perbedaan metode MASW aktif dan pasif terletak pada sumber gelombang yang digunakan, pada MASW aktif sumber gelombang yang digunakan harus memiliki frekuensi yang tinggi, yaitu dapat berupa palu atau *weightdrop*, sedangkan MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kendaraan, kerumunan pejalan kaki.

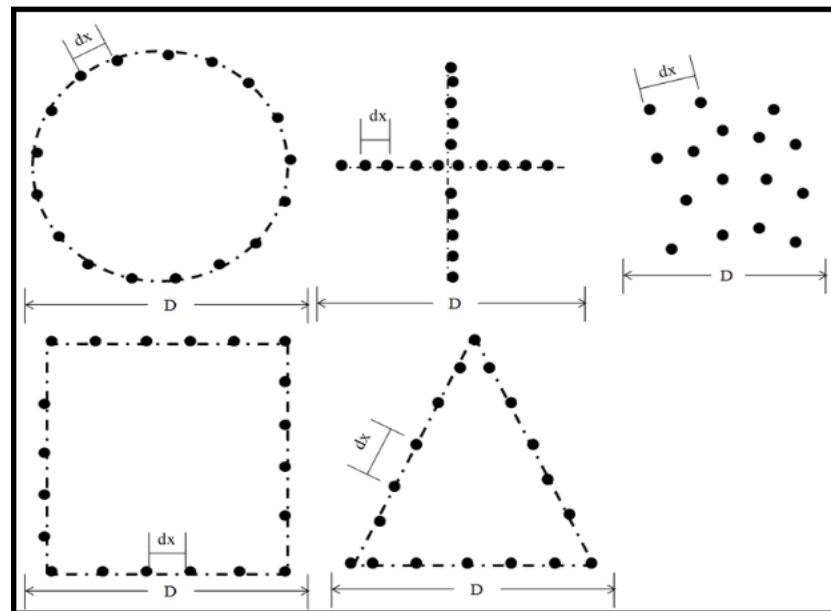


- | | |
|------------------------|---|
| A: Gelombang udara | E. Refraksi |
| B: Gelombang langsung | F. <i>Back Scattering</i> gelombang permukaan |
| C: Gelombang permukaan | G: <i>Ambient Noise</i> |
| D: Refleksi | |

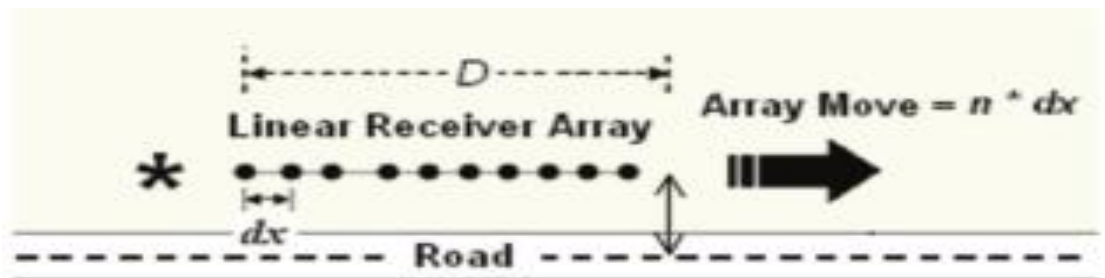
Gambar 3. Gambaran umum survei metode MASW (Park et.al.,1999)



Gambar 4. Skema survei lapangan MAWS aktif (Park et.al.,1999)



Gambar 5. Metode MASW pasif *remote* (Park et al, 2004; 2005)



Gambar 6. Metode MASW pasif *Roadside* (Park dan Miller, 2005)

Konfigurasi *remote* digunakan untuk survei 1-D. Konfigurasi geopon disusun berbentuk simetris. Misalnya lingkaran, silang, persegi, atau segitiga. Sedangkan konfigurasi *roadside* dapat digunakan untuk survei 2-D. Metode ini memanfaatkan gelombang permukaan yang dihasilkan dari lalu lintas lokal. Hasilnya mungkin kurang akurat dibandingkan dengan metode *remote*, namun konfigurasi ini paling mudah digunakan dalam survei karena tidak memerlukan banyak ruang untuk konfigurasi geoponnya. Konfigurasi ini dapat menggabungkan metode aktif dan pasif sekaligus.

1.2.2 Prosedur MASW

Secara umum prosedur MASW terbagi dalam tiga tahap yaitu:

A. Akuisisi data

Proses akuisisi data dengan metode MASW menggunakan 24 sampai 48 geopon. Masing-masing geopon dihubungkan dengan menggunakan kabel *take-out*. Kabel *take-out* dihubungkan pada seismograf, dengan menggunakan kabel *interface* seismograf dihubungkan ke *laptop*. Sumber gelombang yang digunakan, yaitu palu atau *weighdrop* dan sumber frekuensi rendah seperti aktifitas pejalan kaki, lalu lintas kendaraan atau keretaapi tergantung metode MASW yang akan digunakan. Pada tahap akuisisi data, agar diperoleh data yang bagus dengan rasio *S/N* (*signal to noise*) yang baik. Variasi konfigurasi dan alat akuisisi sangat penting untuk diperhatikan. Untuk mendapatkan data hingga kedalaman tertentu, maka sumber yang digunakan berbeda-beda, semakin dalam kedalaman yang

ingin diperoleh, maka sumber gelombang harus memiliki energi yang semakin besar. Kedalaman maksimum yang dapat dicapai tergantung panjang gelombang ($Z_{max} \approx 0.5 \lambda_{max}$).

Tabel 1. Konfigurasi MASW aktif yang direkomendasikan (Park et al, 1999).

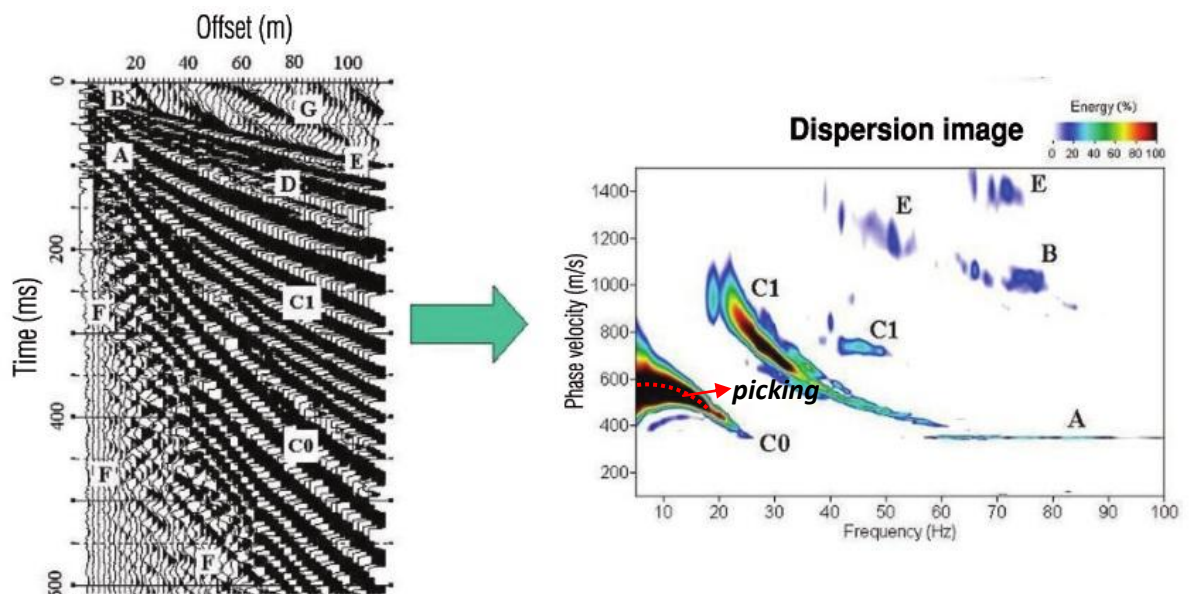
Depth (Zmax) (ft)	Source (S) (lb)	Receiver (R) (Hz)	Receiver Spread (RS) (ft)				SR Move (dx)			Recording				
			Length (D)	Source offset (X1)	Receiver spacing (dx)		Lateral Resolution			dt (ms)	T (sec)	Vertical Stack		
					24-ch	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 5.0	≤ 1 (1)	4.5-100 (40)	5-15 (10)	1-15 (2)	0.2-0.6 (0.3)	0.1-0.3 (0.2)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
5-15	1-5 (5)	4.5-40 (10)	5-45 (30)	1-9 (5)	0.2-2.0 (1.0)	0.1-1.0 (0.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
15-30	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	15-90 (50)	3-18 (10)	0.5-4.0 (2.0)	0.2-2.0 (1.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (1)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
30-60	>10 (20)	≤ 10 (4.5)	30-180 (120)	6-36 (30)	1.0-8.0 (4.0)	0.5-4.0 (2.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
60-100	>10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	60-300 (200)	12-60 (40)	2-12 (8)	1-6 (4)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
100-150	>10 (20) (passive)	≤ 4.5 (4.5)	100-450 (300)	20-90 (60)	4-18 (12)	2-9 (6)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-3.0 (1)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
>150	>10 (20) (passive)	≤ 4.5 (4.5)	>150 (450)	>30 (100)	>6.0 (20)	>3.0 (10)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	>1.0 (2.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)

Jika jarak antar geopon kurang sesuai, hal ini dapat mengakibatkan data kurang koheren. Jika ingin dilakukan survei lebih dalam, beban yang diberikan harus semakin berat untuk menimbulkan energi yang besar. Hal-hal seperti ini dijadikan pertimbangan apakah metode aktif atau pasif yang lebih baik dilakukan.

B. Pengolahan Data

Data seismik yang didapat saat akuisisi data dengan metode *Multichannel analysis of surface wave* berupa *shoot gather* dalam domain waktu dan jarak. Data pengukuran dari domain waktu ditransformasikan ke domain *Phase velocity-frequency* dengan menggunakan *software seisImager* modul

pickwin, sehingga data berubah menjadi gambar kurva dispersi yang menunjukkan hubungan frekuensi dengan kecepatan fasa gelombang berdasarkan energinya. Energi yang paling besar biasanya ditunjukkan oleh warna ungu. Pada gambar dispersi akan terlihat berbagai mode gelombang yang terekam. Mode yang akan *pickwin* adalah mode dasar dari gelombang permukaan “ C_0 ” (Gambar 7), mode dasar atau *fundamental mode* memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan V_s dan ketebalan dekat permukaan, sedangkan perubahan densitas dan kecepatan gelombang primer V_p sensitivitasnya kecil untuk mode dasar dan frekuensi yang sempit. Kurva dispersi mode tinggi (*higher mode*) sensitivitas tinggi pada kedalaman yang lebih dalam dan telah dipengaruhi oleh kecepatan gelombang (V_p , V_s , densitas dan ketebalan). Kemampuan membedakan satu jenis gelombang dari gelombang lainnya sangat berpengaruh pada proses *pickwin* yang akan dilakukan.



Gambar 7. Tahap pengolahan data MASW (Xia dkk, 2003).

C. Inversi

Profil V_s dihitung dengan menggunakan menggunakan inversi berbasis iterasi yang memerlukan data inversi dan estimasi *Poission ratio* dan densitas. Pendekatan *last square* memungkinkan untuk melakukan proses secara otomatis. Untuk metode ini hanya V_s yang berubah setiap melakukan iterasi, sisanya *Poission ratio*, densitas dan ketebalan tidak mengalami perubahan selama proses inversi. Inisial model bumi dibutuhkan sebagai langkah awal proses inversi berbasis iterasi. Model bumi terdiri dari parameter gelombang P dan gelombang S , densitas dan ketebalan. Diantara 4 parameter tersebut, V_s adalah yang paling signifikan (Choon B, dkk, 1999).

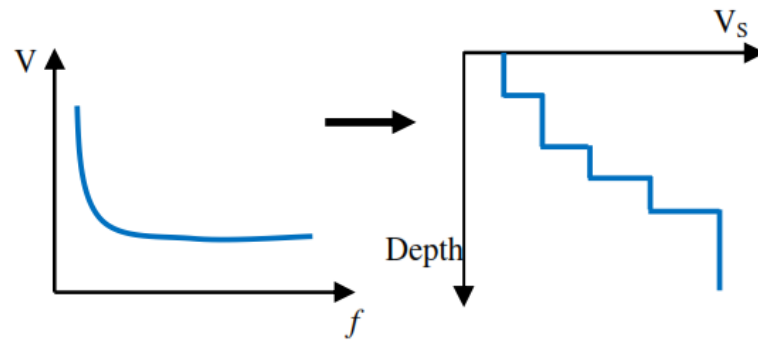
$$V_s(z) = 1.1 c (\lambda = r \cdot z) \quad (1)$$

$V_s(z)$ = kecepatan gelombang geser pada kedalaman z , $c(\lambda)$ Kecepatan Fasa yang berkaitan dengan panjang gelombang (λ), sama dengan perkalian kedalaman (z) dengan faktor konversi kedalaman (r) (antara 2 dan 4) (Ismed Kanli, dkk, 2004).

Selain itu, menurut (M. Asrurifak, dkk, 2013) Profil kecepatan gelombang geser 1-D diperoleh dari hasil inversi kurva dispersi menggunakan metode alogaritma genetik. Dimana dasarnya dilakukan untuk mendapatkan model yang paling baik (mendekati sebenarnya) dengan *missfit* minimum. *Missfit* dirumuskan sebagai berikut :

$$Missfit = \sum_{i=0}^{n_f} \frac{(x_{di} - x_{ci})^2}{\sigma_i^2 n_f} \quad (2)$$

Dimana *Missfit* adalah ketidakcocokan, x_{di} adalah kecepatan kurva teoritis, x_{ci} kecepatan kurva hasil perhitungan pada frekuensi, σ_i ketidakpastian *sample* frekuensi, n_f adalah jumlah dari *sample* frekuensi, jika tidak ada ketidakpastian σ_i diganti oleh x_{di} (Wathlet, dkk, 2004).



Gambar 8. Profil V_s 1-D hasil inversi dari kurva dispersi (Sholihan, 2009)