BAB II
D A S A R T E O R I

2.1 Pengertian Gelombang

Dalam ilmu Fisika maupun ilmu seismologi, dikenal ada beberapa jenis gelombang yaitu gelombang-P, Gelombang-S dan gelombang lainnya. Gelombang-P disebut juga dengan gelombang primer atau gelombang longitudinal, sedangkan gelombang-S disebut juga dengan gelombang sekunder atau gelombang transversal. Gelombang jenis lainnya adalah gelombang selain gelombang-P dan gelombang-S yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love. Kedua gelombang yang terakhir ini tidak dipakai dalam eksplorasi.

Gelombang-P dan gelombang-S dikategorikan sebagai gelombang tubuh (*body wave*) karena kedua gelombang tersebut merambat pada benda yang dilaluinya. Perbedaan kedua gelombang tersebut dicirikan oleh perbedaan cara perambatannya.

Gelombang-P yaitu gelombang yang gerakan partikel-partikelnya dalam medium yang dilalui gelombang searah dengan arah rambat gelombangnya (gambar 2.1).

Sifat-sifat gelombang-P adalah :

1. Longitudinal.
2. Kompresional.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3. Irrotational.

4. Dapat menjalar pada semua medium.

5. Kecepatannya lebih besar dari gelombang-S.

Sedangkan gelombang-S yaitu gelombang yang gerakan patikel-partikelnya dalam medium yang dilalui tegak lurus dengan arah rambatan gelombang (gambar 2.2).

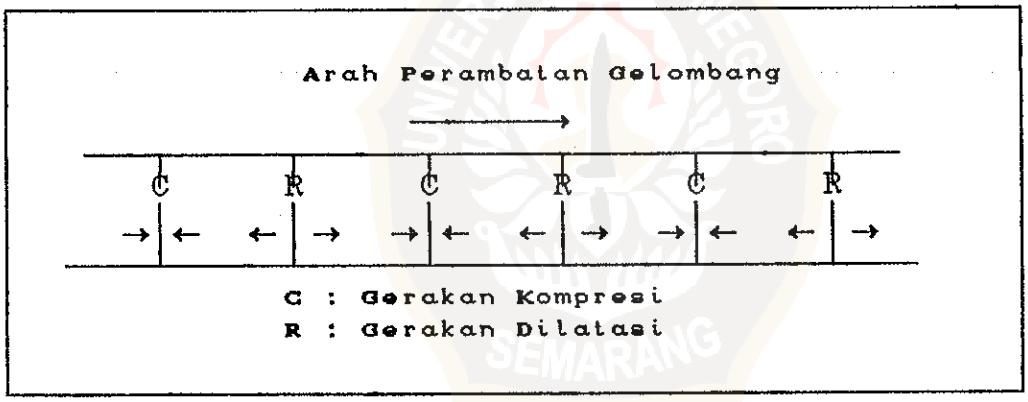
Sifat-sifat dari gelombang-S adalah :

1. Transversal.

2. Rotational.

3. Hanya dapat menjalar pada medium padat.

4. Kecepatannya lebih kecil dari gelombang-P.



Gambar 2.1. Arah gerakan partikel pada gelombang-P (Sheriff, 1973).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2 Kecepatan Perambatan Gelombang

Kecepatan gelombang didefinisikan sebagai perbandingan antara jarak yang ditempuh gelombang dengan waktu yang diperlukannya. Satuan yang biasa dipakai untuk kecepatan adalah meter per detik atau kaki per detik.

Secara teoritis kecepatan perambatan gelombang dalam medium dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Sheriff, 1973) :

Untuk gelombang-P atau gelombang longitudinal :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{k + 4/3\ \mu}{\rho}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.1)$$

Sedangkan untuk gelombang-S atau gelombang transversal :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.2)$$

Dan secara umun persamaan untuk kecepatan gelombang biasanya ditulis dengan :

$$V = \sqrt{\frac{M}{\rho}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.3)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan :

V_p = Kecepatan rambat gelombang-P.

V_s = Kecepatan rambat gelombang-S.

V = Kecepatan rambat gelombang.

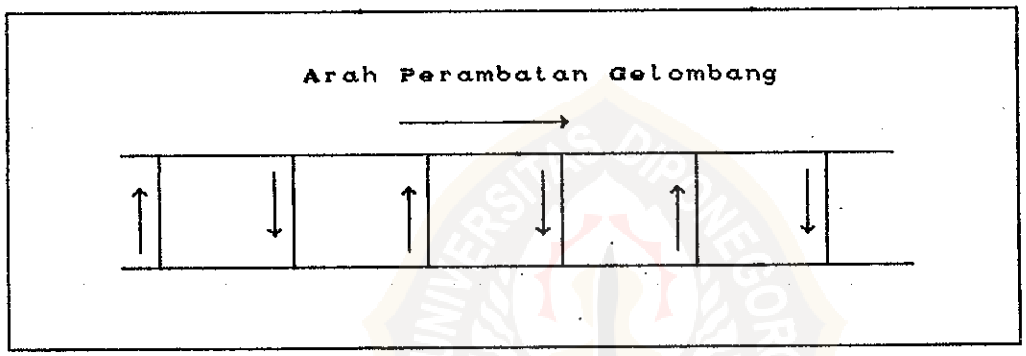
λ = Modulus geser atau modulus kekakuan.

ρ = Massa jenis (densitas).

k = Modulus bulk (inkompressibilitas).

M = Modulus elastis medium.

(Sheriff, 1973).



Gambar 2.2. Arah gerakan partikel pada gelombang-S (Sheriff, 1973).

Dalam penelitian ini untuk perhitungan sering berhubungan dengan kecepatan rata-rata dan kecepatan interval. Di mana kedua kecepatan ini dapat didefinisikan sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2.a Kecepatan Interval

Kecepatan interval yaitu kecepatan rata-rata diatas beberapa interval penjalaran. Kecepatan ini seringkali dihitung dari kecepatan stacking untuk interval antara reflektor-reflektor yang horisontal. Jika waktu tempuh vertikal t_i dan kedalaman lapisan Z_i, maka kecepatan interval pada lapisan ke-i adalah (**Sheriff, 1973**). :

$$V_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{t_{i+1} - t_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.4)$$

2.2.b Kecepatan Rata-rata

Kecepatan rata-rata yaitu perbandingan antara jarak tempuh terhadap waktu yang dibutuhkan oleh gelombang seismik untuk merambat sepanjang lintasan (**Sheriff, 1973**).

$$V_r = \frac{\int_o^t V(t)\,dt}{\int_o^t dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.5)$$

Jika terdapat n lapisan horisontal dengan kecepatan interval V_i dan ketebalan Z_i maka kecepatan rata-rata dapat ditulis sebagai (**Sheriff, 1973**) :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$V_r = \frac{\sum_i^n V_i \, t_i}{\sum_i^n t_i} = \frac{\sum_i^n Z_i}{\sum_i^n t_i} \quad \ldots\ldots (2.6)$$

Dari persamaan kecepatan gelombang diatas (persamaan 2.3), dapat dilihat bahwa kecepatan gelombang pada batuan hanya tergantung pada modulus elastis dan massa jenis batuan. Modulus elastis merupakan pencerminan dari sifat-sifat gaya antar molekul material batuan, sedangkan massa jenis berhubungan dengan porositas batuan.

Modulus bulk merupakan ukuran kemampuan batuan untuk menahan perubahan volumenya (*inkompressibilitas*) apabila dikenakan gaya tekan atau gaya kompresi. Sedangkan modulus kekakuan atau modulus geser μ adalah ukuran kemampuan batuan untuk menahan perubahan bentuk apabila dikenakan gaya geser atau gaya tarik. Keduanya menyatakan kekakuan batuan, dimana untuk batuan yang modulus elastisnya besar maka kecepatan gelombang yang melalui batuan tersebut juga akan makin besar. Modulus elastis batuan berbeda untuk tiap jenis batuan. Besar kecilnya elastis batuan hanya dapat ditentukan dengan melakukan pengukuran di laboratorium. pada kedalaman yang berbeda, konstanta elastis batuan juga akan berbeda pula, dimana semakin dalam letak batuan tersebut maka akan semakin besar nilai

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

konstanta nilai elastisitasnya (**Anstey, 1977**).

Massa jenis ρ untuk tiap batuan juga berbeda-beda tergantung dari massa jenis partikel penyusun batuan tersebut. Juga tergantung dari faktor lain seperti sementasi, tekanan, tektonik dan sebagainya. Massa jenis merupakan fungsi dari massa dan volume batuan. Pada kedalaman yang berbeda-beda, massa jenis batuan akan berbeda pula, dimana semakin dalan letak batuan tersebut maka akan semakin besar pula nilai massa jenisnya. Hal ini di sebabkan karena makin besarnya tekanan yang dialami oleh batuan tersebut dibandingkan dengan batuan diatasnya, sehingga batuan tersebut akan berkurang volumenya sedangkan massanya tetap. Dengan kata lain massa jenisnya bertambah naik.

Tabel-2.1 menggambarkan bagaimana perubahan kedalaman mempengaruhi massa jenis (porositas) dan kecepatan perambatan gelombang pada batuan serpih (**Payton, 1977**).

2.3 Hubungan antara V, M, ρ dan Z

Dari persamaan kecepatan gelombang (persamaan 2.3) dan penjelasan diatas maka dapat diperkirakan bagaimana hubungan antara kecepatan V, modulus elastisitas M, massa jenis ρ dan kedalaman batuan Z. Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan gelombang dalam batuan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

sebanding dengan modulus elastisnya dan berbanding terbalik dengan massa jenisnya.

Disisi lain massa jenis juga sebanding dengan kedalaman batuan. Ini berarti bahwa kecepatan gelombang berbanding terbalik dengan kedalaman batuan, yang berarti

N O	Dept (z)	Porositas (ϕ)	Massa jenis (ρ)	Kecepatan (ft/det)
1	200	50	1,87	5000
2	1000	38	2,05	6200
3	2000	32,2	2,15	7100
4	3000	29	2,20	7800
5	4000	27	2,24	8200
6	5000	25	2,27	8700
7	6000	24	2,29	9000
8	7000	22,5	2.31	9400
9	8000	21,4	2,33	9700
10	9000	20,5	2,34	10000
11	10000	19,9	2,36	10400
12	11000	19	2,37	10600
13	12000	18,4	2,38	10900
14	13000	17,8	2,39	11200
15	14000	17	2,40	11450
16	15000	16,4	2,41	11700
17	16000	16	2,42	11900
18	17000	15,3	2,42	12150

Tabel 2.1 Hubungan antara kedalaman, massa jenis (porositas) dan kecepatan gelombang (Payton, 1977 hal. 35).

antara teori dan pengalaman empiris di lapangan bertolak belakang. Hal ini bisa dijelaskan bahwa modulus elastisitas batuan sangat peka terhadap perubahan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kedalaman, dibandingkan dengan massa jenis. Massa jenis batuan hanya berubah sedikit terhadap kedalaman, sedangkan modulus elastisitas sangat besar perubahannya. artinya pengaruh modulus elastisitas terhadap kenaikan kecepatan haruslah lebih besar dari pengaruh massa jenis apabila kedalaman batuan bertambah. Dengan penjelasan ini dapat dibuat sebuah logika matematika bahwa apabila kecepatan sebanding dengan konstanta elastis dan konstanta elastis sendiri sebanding dengan kedalaman maka kecepatan rambat gelombang akan sebanding dengan kedalaman (Anstey, 1977).

2.4 Hubungan antara Kecepatan dan Kedalaman

Secara teoritis, tidak ada hubungan eksak yang menyatakan secara langsung hubungan antara kecepatan rambat gelombang dengan kedalaman batuan. Akan tetapi dari pengalaman empirik menunjukan bahwa kecepatan gelombang akan naik dengan bertambahnya kedalaman batuan, sehingga dari sini dapat dibuat suatu hipotesis bahwa kecepatan gelombang sebanding dengan kedalaman batuannya. Secara matematis hubungan ini dapat dinyatakan dengan persamaan (Acheson, 1963) :

$$V = a Z^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.7)$$

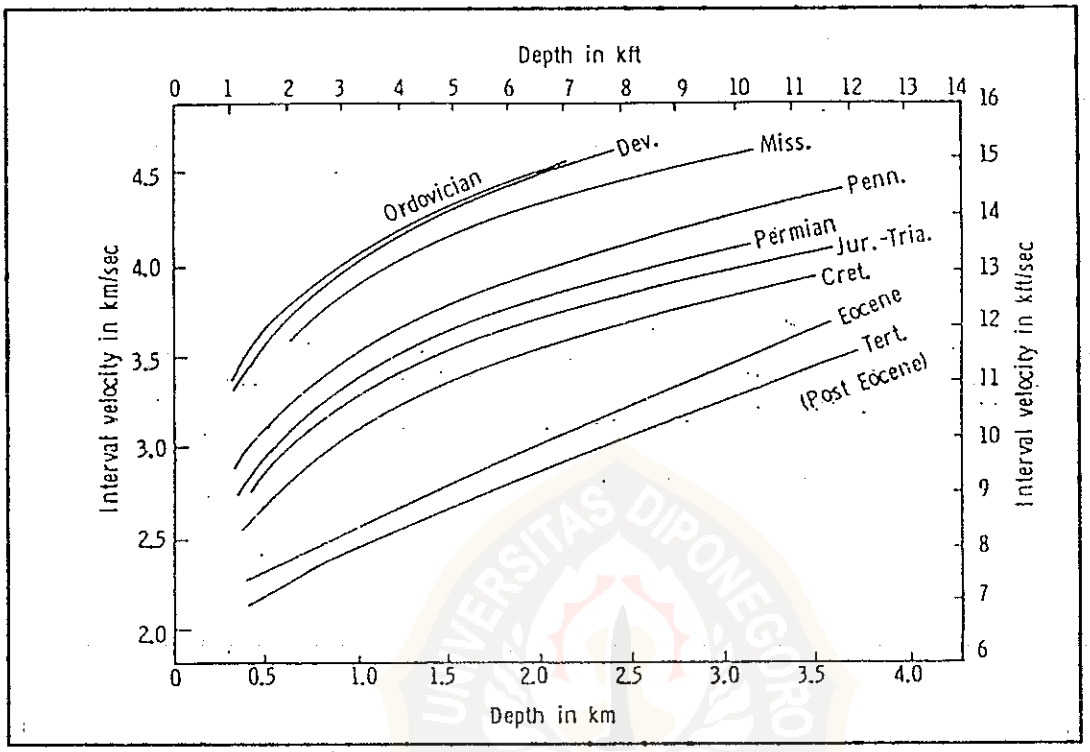
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan V = Kecepatan (kaki/det).

Z = Kedalaman (kaki).

a = Konstanta pembanding.

n = Integer.



Gambar 2.3. Kecepatan vs kedalaman pada berbagai umur geologi (Faust, 1951).

Horton (1943) telah melakukan studi tentang hubungan antara kecepatan gelombang dengan kedalaman batuan sedimen di Vermon Parish Lousiana. Dari hasil observasinya ia menyimpulkan hubungan kecepatan gelombang-kedalaman batuan sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$V = 5650 + 0,8\ Z \quad \text{(kaki/det)} \ldots\ldots\ldots \quad (2.8)$$

Sementara **Faust (1951)** melakukan studi tentang relasi antara kecepatan gelombang, kedalaman dan umur geologi dari batuan. Faust melakukan observasi dari 500 buah sumur di USA dan Kanada, dimana hasilnya ditunjukan oleh kurva-kurva kecepatan-kedalaman yang digrafikkan dari umur Tersier sampai umur Ordovician yang memberikan hubungan empiris sebagai berikut (gambar 2.3) :

$$V = 125,3\ (Z\ T)^{1/6} \quad \text{(kaki/det)} \ldots\ldots\ldots \quad (2.9)$$

dengan V = Kecepatan (kaki/det).

Z = Kedalaman (kaki).

T = Umur batuan (tahun).

sedangkan **Acheson (1963)**, juga telah memberikan hubungan empirik antara kecepatan dengan kedalaman batuan dengan persamaan yang hampir sama dengan Faust yaitu :

$$V = C\ Z^{1/6} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2.10)$$

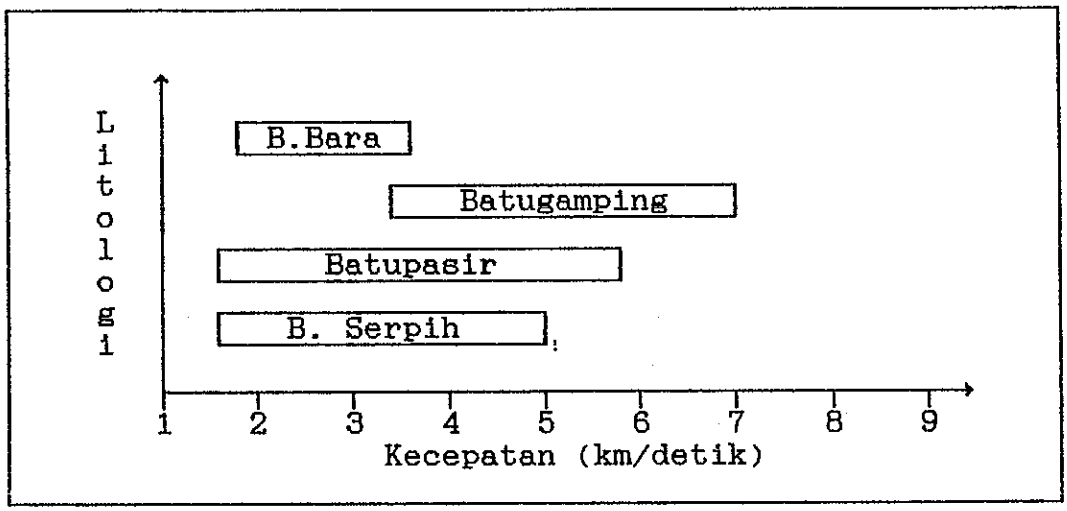
dengan C adalah suatu konstanta pembanding.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.5 Pengaruh Litologi terhadap Kecepatan Gelombang

Perbedaan litologi juga mempengaruhi kecepatan gelombang pada batuan, dimana untuk litilogi yang berbeda akan mempunyai kecepatan yang berbeda pula. Gambar-2.4 adalah hubungan kecepatan perambatan gelombang-P dengan jenis batuan (litologi). dari gambar tersebut terlihat bahwa kecepatan perambatan gelombang-P (V_p) pada berbagai litologi saling tumpang tindih (over lapping) antara litologi yang satu dengan litologi yang lainnya. Selain itu juga memperlihatkan bahwa variasi kecepatan perambatan gelombang mempunyai interval (selang) yang sangat lebar, sehingga sangat sulit untuk membedakan jenis litologi kalau hanya mengandalkan data kecepatan V_p saja. Tumpang tindih antara V_p untuk batubara dan V_p untuk batulempung mencapai sekitar 66%. Demikian pula V_p untuk batulempung dan batupasir, batugamping dan seterusnya; tumpang tindihnya berkisar antara 50 - 70% (Gregory, 1977).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.5 : Hubungan kecepatan dengan litologi (Gregory, 1977).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)