


**DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
Proyek Pembinaan dan Peningkatan Mutu Tenaga Kependidikan**

(P2MTK)

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TGL	31-10-96
SUMBER/HARGA	HD
KOLEKSI	KKI
NO INVENTARIS	903/HD/96-001/21
KLASIFIKASI	530.41 FES a:1



**ATENUASI GELOMBANG PADA CAMPURAN
BAHAN PADAT**

**Laporan Magang Penelitian
Dosen MIPA LPTK
Periode Desember 1994 - Februari 1995**

Bidang Fisika

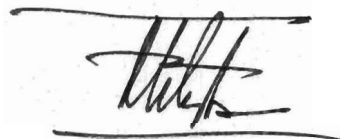
**Oleh:
Dra. Festiyed, M.S
Dosen Jurusan Pendidikan Fisika
FPMIPA IKIP PADANG**



**MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG**

**Penyelenggara:
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
1995**

DIKETAHUI
PEMBIMBING

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Lilik', is enclosed within a rectangular box. The signature is written in a cursive style with some loops and flourishes.

PROF. LILIK HENDRAJAYA, PH.D
NIP 130367158

ABSTRAK

Masalah atenuasi dapat memberikan informasi yang lebih detail tentang keutuhan, kepadatan dan keserbasamaan batuan, sehingga dapat melengkapi data hubungan konstanta elastik batuan dan tentunya dapat pula meningkatkan probabilitas dari hubungan-hubungan tersebut.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh hubungan yang linier antara lebar pulsa dengan delay time, lebar pulsa dengan porositas.

KATA PENGANTAR

Dalam laporan ini disajikan hasil kegiatan magang penelitian dosen MIPA LPTK yang dibiayai oleh Proyek Pembinaan dan Peningkatan Mutu Tenaga Kependidikan (P2MTK) Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, bertempat di jurusan Fisika Bumi Institut Teknologi Bandung untuk periode Desember 1994 - Februari 1995. Hasil penelitian yang dilaporkan adalah tentang: 'ATENUASI GELOMBANG PADA CAMPURAN BAHAN PADAT', dilakukan di laboratorium Fisika Bumi ITB.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada Yang terhormat Bapak Prof. Lilik Hendrajaya, Ph.D yang telah memberikan bimbingan selama kegiatan magang ini. Disamping itu penulis sampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

Bapak Dr. Gunawan Handayani, MSCE,

Bapak Bagus Endar Bakhtiar, SSI, dan Bapak Drs. Enjang

Rambang Ponco S., Darsana (Geologi), Sesdahayati

Bapak Daryat dan Bapak Sukardiyono

Semua asisten Fisika Bumi

yang telah membantu kegiatan ini.

Bandung, 23 Februari 1995

Dra. Festiyed, MS

DAFTAR ISI

	halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB. I PENDAHULUAN	1
BAB. II TEORI GELOMBANG ELASTIK DAN ULTRA SONIK	4
2.1 Gelombang	4
2.2 Gelombang Elastik	5
2.3 Gelombang Ultra'sonik	14
2.3.1 Jenis Gelombang	15
2.3.2 Tekanan dan Energi	19
2.3.3 Impedansi Akustik	25
2.3.4 Atenuasi Gelombang	25
2.3.5 Pemantulan dan Pembiasan	26
2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Gelombang di Dalam Batuan	30
2.4.1 Jenis batuan	31
2.4.2 Komposisi mineral dan ukuran butir batuan	31
2.4.3 Density	32
2.4.4 Porositas	32
2.4.5 Anisotrop	32
2.4.6 Tekanan	32
2.4.7 Kandungan air	32
2.4.8 Temperatur	32
2.5 Beberapa Modulus Elastik Dinamik Kombinasi Harga Cepat Rambat Gelombang P dan S	33
BAB. III PENGUKURAN	34
3.1 Metode Pengukuran	34
3.2 Metode Persiapan	37
3.3 Prosedur Pengukuran	41
BAB. IV HASIL PENGUKURAN	43
BAB. V PENUTUP	69
DAFTAR PUSTAKA	70

BAB I

PENDAHULUAN

Suatu bahan dikatakan mempunyai sifat elastik jika bahan tersebut mengalami strain (meregang) bila dikenai stress (tegangan) dan kembali ke keadaan semula jika stress dihilangkan. Sifat elastik bahan ini dapat mencerminkan sifat batuan tersebut, misalnya kekuatan dan daya dukung bahan terhadap beban berat . Untuk itu perlu sekali penentuan parameter-parameter yang berkaitan dengan sifat elastik bahan. Suatu teknik penentuan parameter elastik dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu dengan cara statik dan dengan cara kinetik (dinamik).

Penentuan cara statik terjadi jika partikel-partikel bahan tak mengalami pergeseran selama pengukuran. Sedang cara kinetik sebaliknya yaitu mengalami pergeseran selama pengukuran. Pada penelitian ini digunakan cara statik.

Gelombang statik yang terjadi merupakan fungsi dari komposisi bahan penyusun dan konstanta elastik (seperti Poisson's Ratio, Modulus Young, Modulus Geser, Modulus Bulk, Konstanta Lamé, Porositas), juga dipengaruhi oleh besarnya pori, kandungan lempung, uap air, tekanan dan temperatur.

Untuk mengetahui sifat-sifat fisik dari kecepatan gelombang statik diperlukan hubungan yang jelas antara konstanta elastik dengan kecepatannya. Hubungan ini menurut

Terasaki dan T.Okhubo (1977) :

1. Sebagai fungsi densitas, kecepatan meningkat eksponensial pada densitas kecil, dan meningkat logaritmical pada densitas besar.
2. Makin besar porositas makin berkurang kecepatannya.
3. Kecepatan bervariasi bergantung pada kehadiran air dalam pori, umumnya kandungan air meningkatkan kecepatan, tapi pada batuan lunak kecepatan turun.
4. Modulus Young Statis dan Kekuatan Kompresi tak terbatas umumnya meningkat eksponensial.
5. Modulus Young Dinamis dan Modulus Young Statis berada pada hubungan non-linier, tetapi merupakan korelasi yang bagus.

Selanjutnya hasil penelitian dari Doddy Sutarno, Lilik

Hendrajaya dan Sarwono Wachid (1983) :

1. Ada keteraturan hubungan antara harga-harga modulus elastik dengan porositas untuk batuan. Secara teoritis distribusi stress dan strain amat dipengaruhi oleh porositas yang menentukan kondisi syarat batas fungsi potensial stress dan strain, sebagai akibatnya harga Modulus elastiknya juga terpengaruh.
2. Dari data batuan buatan menunjukkan adanya hubungan erat antara Modulus elastik, porositas dan komposisi bahan penyemen. Makin besar komposisi penyemen memperkecil harga porositas, sebaliknya Modulus Elastik menjadi semakain besar.
3. Dari data-data yang ada menunjukkan bahwa harag perbandingan Poisson tampaknya tidak bergantung secara signifikan terhadap struktur dalam (porositas) ataupun komposisi penyemen.

Pada sisi lain bagaimanapun juga telah dipilih batuan yang dianggap uniform tetap memberikan sesuatu tak pasti dalam pemilihannya. Untuk alasan ini penting sekali melakukan banyak test dalam meningkatkan probabilitas dari hubungan-hubungan seperti tersebut diatas.

Dalam pengertian ini dan dilihat dari perkembangan mekanika batuan masalah atenuasi banyak jadi

perhatian. Pengetahuan tentang atenuasi dapat memberikan informasi yang lebih detail tentang keutuhan, kecepatan dan keserbasamaan medium batuan. Karena atenuasi merupakan proses pengurangan energi gelombang akibat penyerapan dan penyebaran selama penjalaran dalam medium (batuan) maka terjadi perubahan Amplitudo dan fasanya.

Pada penelitian ini dilakukan test di Laboratorium sehingga diperoleh hubungan atenuasi dengan parameter-parameter lainnya, dari 82 buah batuan yang dibuat berbentuk silinder dengan perbandingan diameter dan panjang 1:2. Pengukuran dilakukan dua tahap, tahap pertama sampel dalam keadaan utuh dan tahap dua sampel dipotong-potong. Peralatan yang digunakan adalah Sonik Viewer, eksikator, pompa vakum, timbangan listrik, oven.

Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan pelebaran pulsa, delay time dan amplitudo berhubungan linier dengan porositas batuan.

BAB II
TEORI GELOMBANG ELASTIK DAN ULTRASONIK

2.1. GELOMBANG

Pada dasarnya gelombang adalah suatu bentuk gangguan yang menjalar dalam suatu medium (disebut *medium perantara* atau *medium penjalaran*) dengan mekanisme perambatan getaran. Gelombang akan memindahkan sebagian energinya ke partikel dalam medium yang paling dekat dengannya sehingga partikel tersebut mengalami kenaikan energi dan bergetar. Hal ini menyebabkan terganggunya keseimbangan medium sehingga terjadi perpindahan energi dari partikel yang energinya lebih tinggi ke partikel lain di sekitarnya yang energinya lebih rendah untuk mencapai keseimbangan baru. Partikel penerima energi kemudian bergetar sementara partikel pemberi energi mengalami peredaman. Mekanisme pencapaian keseimbangan ini berlangsung terus menerus hingga mencapai partikel terakhir dalam medium atau sampai suatu kondisi ketika peredaman tidak memungkinkan lagi berlangsungnya perpindahan energi. Pada saat itu, medium kembali ke keseimbangan semula seperti sebelum mengalami gangguan.

Salah satu jenis gelombang yang menjalar dengan mekanisme perambatan getaran seperti diuraikan diatas adalah *gelombang suara* (*akustik*). Gelombang suara sendiri dapat di bedakan menjadi beberapa jenis menurut daerah frekuensi kerjanya, yaitu:

1. Gelombang infrasonik, yang frekuensi kerjanya di bawah 20 Hertz.

2. Gelombang sonik, yang frekuensinya diantara 20 Hertz sampai 20 kilo Hertz.

3. Gelombang ultrasonik, yang memiliki frekuensi diatas 20 kilo Hertz.

Sesuai dengan frekuensi gelombang yang dipergunakan dalam penelitian ini, maka pembahasan akan dititikberatkan pada gelombang ultrasonik.

2.2 GELOMBANG ELASTIK

Seperti telah dijelaskan diatas bahwa gelombang adalah suatu gejala dimana terjadi perambatan suatu gangguan melalui suatu bahan. Setelah gangguan ini lewat, keadaan bahan akan kembali ke kondisi semula seperti sebelum gangguan itu datang.

Misal gangguan ini merupakan suatu besaran sebarang θ yang merambat didalam bahan dengan kecepatan C sepanjang sumbu x dari suatu sistem koordinat. Anggap bahwa baik besarnya maupun bentuknya tidak berubah selama merambat. Pada waktu $t = 0$, maka besaran θ akan merupakan suatu fungsi dari x yang dapat kita tuliskan seperti persamaan 2.1

$$\theta = f(x) \dots\dots\dots (2.1)$$

Setelah waktu t , gangguan ini akan merambat sejauh $C.t$. Oleh karena dianggap bahwa besar dan bentuknya tidak berubah, maka θ akan tetap dinyatakan oleh persamaan 2.1. Hal ini dapat diterima dengan syarat bahwa pusat sumbu dari sistem koordinat semula dipindahkan pada posisi $x = C.t$. Jadi, bila dinyatakan dengan sistem koordinat semula akan diperoleh persamaan seperti :

$$\theta = f(x - C.t) \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Bila θ yang dinyatakan oleh persamaan (2.2) diturunkan dua kali terhadap x akan diperoleh persamaan (2.3).

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = f''(x - C.t) \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Sedangkan kalau diturunkan dua kali terhadap t . akan diperoleh persamaan (2.4).

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = C^2 f''(x - C.t) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Sehingga dari persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) akan diperoleh hubungan seperti

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = C^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Persamaan (2.5) merupakan *persamaan gelombang*. Jadi, bila ada suatu persamaan yang mempunyai bentuk sama dengan persamaan (2.5), maka ini berarti terdapat suatu bentuk gelombang.

Kalau besaran atau parameter θ pada persamaan (2.5) adalah suatu perpindahan, yang tentunya disebabkan oleh gaya-gaya mekanik, maka gelombangnya disebut gelombang mekanik. Sifat-sifat gelombang mekanik ini tergantung pada sifat-sifat elastik dari bahan yang dilaluinya, sehingga sering disebut sebagai gelombang elastik.

Untuk menurunkan persamaan gelombang dari gelombang elastik didalam bahan, perlu ditinjau suatu elemen kecil dari bahan tersebut. Misalkan, elemen itu mempunyai massa m dan dipengaruhi oleh gaya-gaya mekanik. Bila gaya-gaya ini tidak seimbang, maka akan ada gaya resultan yang mengakibatkan adanya percepatan pada elemen tadi. Bila elemen ini mendapat percepatan dalam arah x , maka percepatannya dapat dinyatakan dengan persamaan (2.6).

$$a = \partial^2 u_x / \partial t^2 \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana u_x adalah perpindahan elemen dalam arah x . Bila gaya resultan yang bekerja pada elemen adalah F , maka menurut *hukum Newton* :

$$F = m \cdot a$$

atau $F = m \partial^2 u_x / \partial t^2 \quad \dots\dots\dots (2.7)$

atau $\partial^2 u_x / \partial t^2 = F/m$

Bila F dapat dinyatakan sebagai :

$$F = A \partial^2 u_x / \partial x^2 \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan A adalah suatu konstanta, maka diperoleh hubungan seperti :

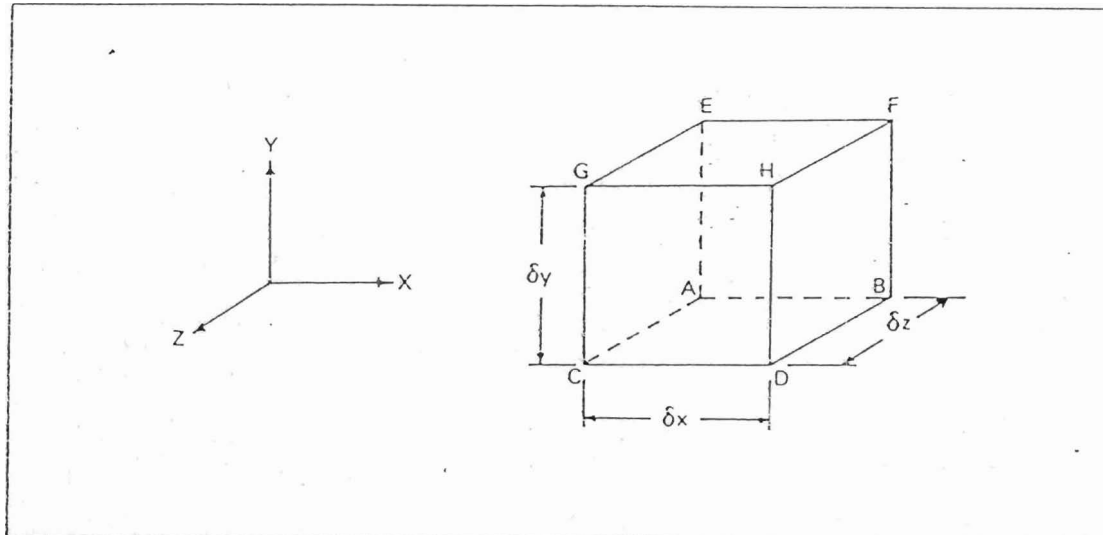
$$\partial^2 u_x / \partial t^2 = (A/m) \cdot \partial^2 u_x / \partial x^2 \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Terlihat disini, persamaan (2.9) mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan (2.5) dengan besaran θ merupakan besaran perpindahan.

Untuk menurunkan persamaan gelombang elastik didalam bahan, perlu ditinjau adanya hubungan antara tegangan dan regangan didalam bahan tersebut. Bahan yang akan ditinjau sifat elastiknya adalah *bahan padatan* karena mempunyai bentuk yang paling umum dibandingkan dengan bahan lainnya serti cairan dan gas. Agar diperoleh bentuk umum dari hubungan tegangan-regangan ini, akan diturunkan persamaan tegangan-regangan untuk bahan padatan.

Lihat suatu paralelepipida segi empat yang kecil sekali seperti pada gambar 2.1. Panjang sisi-sisinya adalah ∂x , ∂y , dan ∂z yang masing-masing sejajar dengan sumbu-sumbu x , y , dan z dari suatu sistem koordinat kartesian. Bila bahan ini

ditekan, maka umumnya paralelepipida ini akan berpindah tempat dari posisi awalnya (terjadinya *perpindahan*) dan sekaligus juga berubah bentuknya (terjadinya *depormasi*).

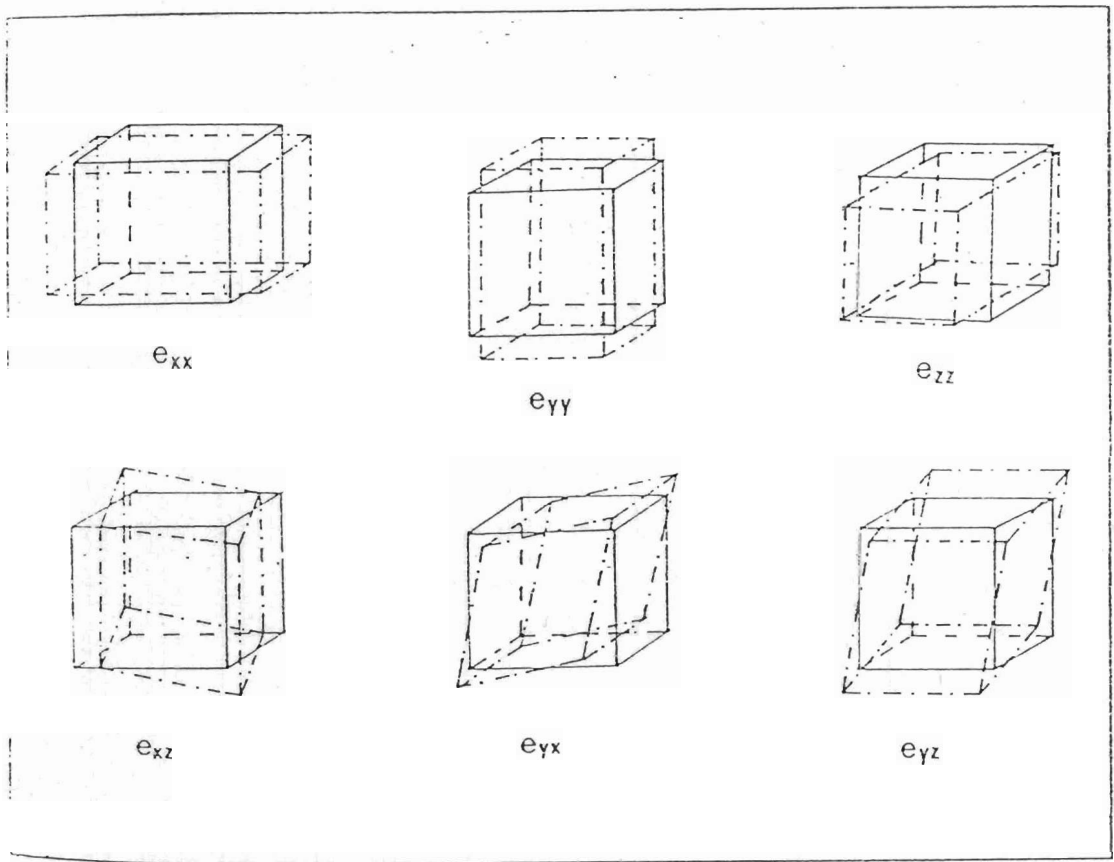


Gambar 2.1. Paralelepipida Segi-Empat

Pada umumnya, perpindahan yang terjadi dapat dipandang sebagai jumlah vektor dari 3 perpindahan translasi yang masing-masing sejajar dengan sumbu-sumbu sistem koordinat, ditambah satu perpindahan rotasi. Sedangkan deformasi dapat dipandang sebagai gabungan dari perubahan-perubahan panjang dari setiap sisi-sisinya (*regangan longitudinal*) dan perubahan-perubahan sudut dari setiap bidang-bidangnya (*regangan geser*). Regangan geser ini menyebabkan bidang-bidangnya berubah bentuk. Oleh karena itu, akan dicari hubungan antara tegangan yang bekerja pada paralelepipida dan regangan yang diakibatkannya.

Mula-mula tinjau lebih dahulu regangan yang dinyatakan

dengan e_{ij} dimana indeks-indeks i dan j dapat berupa x , y , atau z . Karena simetri, maka ada 6 regangan yang berbeda yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Bila $i = j$, maka regangannya merupakan regangan longitudinal, sedangkan bila $i \neq j$, maka regangan disebut regangan geser.



Gambar 2.2. Keenam Komponen Regangan

Pada regangan longitudinal, bila tegangan-regangan bekerja pada bahan, maka titik A dan H dari paralelepipida akan berpindah tempat dan demikian pula dengan titik-titik yang lain. Bila perpindahan-perpindahan dari titik A yang sejajar dengan sumbu-sumbu x , y , dan z masing-masing adalah u_x , u_y , dan u_z ; maka perpindahan-perpindahan titik H dapat

dinyatakan oleh :

$$u_x + (\partial u_x / \partial x) \partial x ; u_y + (\partial u_y / \partial y) \partial y ; \text{ dan}$$

$$u_z + (\partial u_z / \partial z) \partial z$$

Karena regangan longitudinal pada suatu arah didefinisikan sebagai perubahan panjang dalam arah tersebut, maka akan diperoleh persamaan regangan longitudinal seperti :

$$\begin{aligned} e_{xx} &= \partial u_x / \partial x \\ e_{yy} &= \partial u_y / \partial y \quad \dots\dots\dots (2.10) \\ e_{zz} &= \partial u_z / \partial z \end{aligned}$$

Untuk memahami regangan geser, gambar 2.3 memperlihatkan terjadinya perubahan sudut dari sudut yang dibentuk oleh sisi-sisi bidang GHCD.

Besarnya regangan geser tersebut adalah :

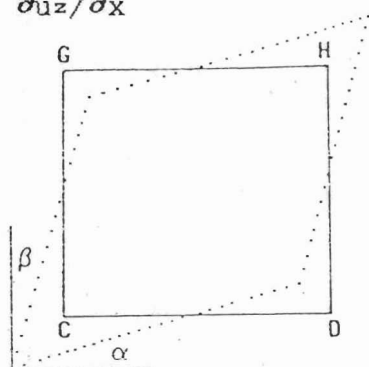
$$e_{xy} = \alpha + \beta$$

atau
$$e_{xy} = \partial u_y / \partial x + \partial u_x / \partial y \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

karena α dan β dianggap kecil sekali. Dengan cara sama diperoleh :

$$e_{yz} = \partial u_z / \partial y + \partial u_y / \partial z \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

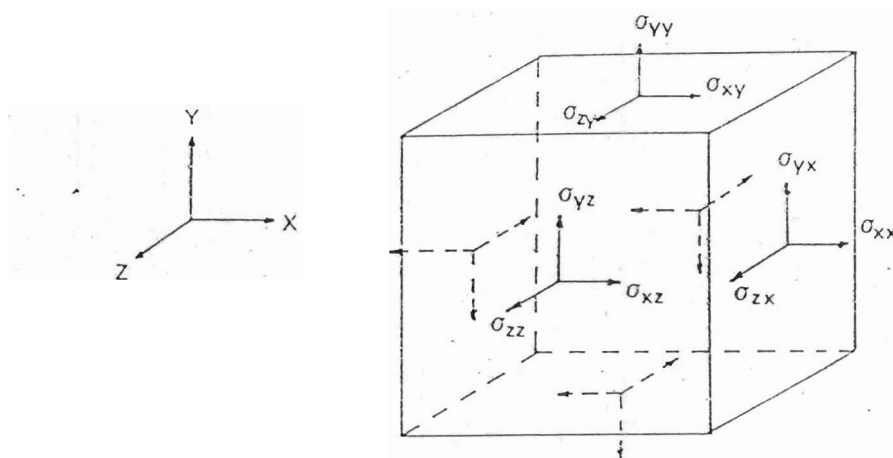
$$e_{zx} = \partial u_x / \partial z + \partial u_z / \partial x$$



Gambar 2.3. Regangan Geser Pada Bidang GHCD

Pada dasarnya regangan akan terjadi bila bahan mendapat tekanan yang tidak lain adalah tegangan yang bekerja pada bidang-bidang paralelepipida. Setiap titik tegangan dapat diuraikan menjadi 3 komponen yang masing-masing sejajar dengan sumbu-sumbu x, y, dan z, yang didefinisikan sebagai σ_{ij} dimana tegangan longitudinal terjadi bila $i = j$ dan tegangan geser terjadi bila $i \neq j$. i menyatakan arah bekerjanya tegangan pada suatu bidang dan j menyatakan arah dari bidang dimana tegangan itu bekerja, yaitu arah normal dari bidang tersebut. Tegangan akan bertanda positif bila mempunyai arah keluar (tarik) dan akan bertanda negatif bila mempunyai arah ke dalam (tekan). Komponen tegangan pada suatu paprlelepiped dapat ditunjukkan pada gambar 2.4. Keenam komponen tersebut adalah tiga tegangan longitudinal σ_{xx} , σ_{yy} , σ_{zz} dan tiga tegangan geser σ_{xy} , σ_{yz} , σ_{zx} yang semua bebas.

Dengan adanya definisi dari masing-masing regangan dan tegangan, maka dapat dicari hubungan keduanya. Menurut



Gambar 2.4. Keenam Komponen Tegangan

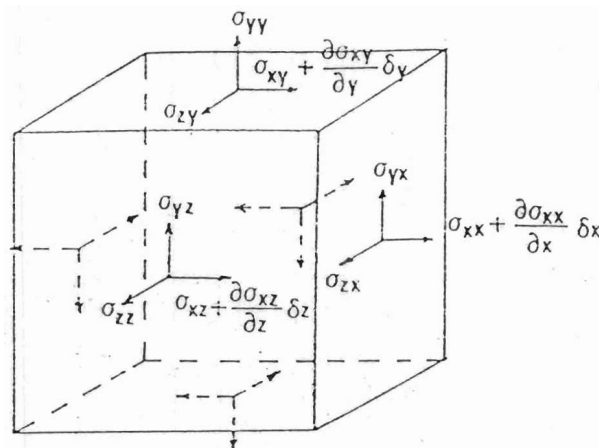
hukum Hooke, bila tegangan yang bekerja berada dibawah batas elastisitas bahan, maka regangan yang terjadi akan sebanding dengan tegangan yang menimbulkannya. Jadi akan diperoleh hubungan tegangan-regangan seperti persamaan 3.13. Koefisien C_{rs} merupakan konstanta elastik yang berjumlah 36 buah. Jumlah koefisien akan berkurang karena adanya simetri. Misalnya, bahan isotropik mempunyai 2 koefisien. Kedua koefisien tersebut dikenal *konstanta lame* dengan notasi λ dan μ . Selanjutnya, pembahasan dibatasi pada bahan *isotropik*. Konstanta *Lame* ini dihubungkan dengan konstanta-konstanta elastik dengan persamaan (2.14). Sedangkan konstanta-konstanta yang lain nol. Jadi, hubungan tegangan-regangan untuk bahan isotropik dapat dinyatakan dengan persamaan (2.15).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xx} &= C_{11}e_{xx} + C_{12}e_{yy} + C_{13}e_{zz} + C_{14}e_{yz} + C_{15}e_{zx} + C_{16}e_{xy} \\
 \sigma_{yy} &= C_{21}e_{xx} + C_{22}e_{yy} + C_{23}e_{zz} + C_{24}e_{yz} + C_{25}e_{zx} + C_{26}e_{xy} \\
 \sigma_{zz} &= C_{31}e_{xx} + C_{32}e_{yy} + C_{33}e_{zz} + C_{34}e_{yz} + C_{35}e_{zx} + C_{36}e_{xy} \\
 \sigma_{yz} &= C_{41}e_{xx} + C_{42}e_{yy} + C_{43}e_{zz} + C_{44}e_{yz} + C_{45}e_{zx} + C_{46}e_{xy} \\
 \sigma_{zx} &= C_{51}e_{xx} + C_{52}e_{yy} + C_{53}e_{zz} + C_{54}e_{yz} + C_{55}e_{zx} + C_{56}e_{xy} \\
 \sigma_{xy} &= C_{61}e_{xx} + C_{62}e_{yy} + C_{63}e_{zz} + C_{64}e_{yz} + C_{65}e_{zx} + C_{66}e_{xy}
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= C_{12} = C_{13} = C_{23} = C_{21} = C_{31} = C_{32} \\
 \mu &= C_{44} = C_{55} = C_{66} \\
 \lambda + 2\mu &= C_{11} = C_{22} = C_{33}
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{xx} &= (\lambda + 2\mu) e_{xx} + \lambda e_{yy} + \lambda e_{zz} \\
 \sigma_{yy} &= \lambda e_{xx} + (\lambda + 2\mu) e_{yy} + \lambda e_{zz} \\
 \sigma_{zz} &= \lambda e_{xx} + \lambda e_{yy} + (\lambda + 2\mu) e_{zz} \\
 \sigma_{yz} &= \mu e_{yz} \\
 \sigma_{zx} &= \mu e_{zx} \\
 \sigma_{xy} &= \mu e_{xy}
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Untuk menurunkan persamaan gelombang elastik, dapat ditunjukkan dari gambar 2.5 dengan hanya melihat bekerjanya gaya netto (F) pada paralelepipida dalam arah x saja.



Gambar 2.5. Ketidakseimbangan Tegangan dalam Arah x

Gaya F yang dimaksud adalah :

$$F = \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} \delta y \delta x \delta z + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \delta z \delta x \delta y$$

..... (2.16)

$$C_L = \sqrt{((\lambda+2\mu)/\rho)} \dots\dots\dots (2.22)$$

Yang kedua, gelombang yang merambat tegak lurus terhadap per - pindahan dan disebut *gelombang transversal* dengan persamaan :

$$\partial^2 u_x / \partial t^2 = \mu / \rho \partial^2 u_x / \partial y^2$$

dan $\partial^2 u_x / \partial t^2 = \mu / \rho \partial^2 u_x / \partial z^2 \dots\dots\dots (2.23)$

dengan cara yang sama, kecepatan gelombang transversalnya adalah :

$$C_T = \sqrt{(\mu/\rho)} \dots\dots\dots (2.24)$$

diketahui bahwa :

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

maka jika harga tersebut dimasukkan dalam persamaan (2.22) dan (2.24) didapat harga kecepatan gelombang longitudinal $C_L (=V_p)$ serta kecepatan gelombang transversal $C_T (=V_s)$ sebagai berikut

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \dots\dots\dots (2.26)$$

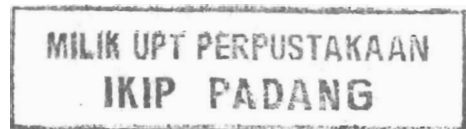
dimana :

E = Modulus elastik dinamik

ν = Poisson ratio

2.3. GELOMBANG ULTRASONIK

Gelombang ultrasonik termasuk dalam kelompok *getaran mekanik* yang melibatkan gaya-gaya mekanik selama melakukan



penjalaran dalam suatu medium. Akibatnya, gelombang ini tergantung pada elastisitas medium penjalarnya. Fenomena ini terlihat pada perubahan panjang gelombang λ , jika gelombang ultrasonik tersebut dijalarkan pada medium yang berbeda elastisitasnya.

Hubungan antara panjang gelombang dengan kecepatan penjalarnya dinyatakan dengan persamaan berikut ini. [7] :

$$\lambda = V/f \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

dimana : λ = Panjang gelombang (mm)

V = Kecepatan gelombang (km/detik)

f = Frekuensi (MHz)

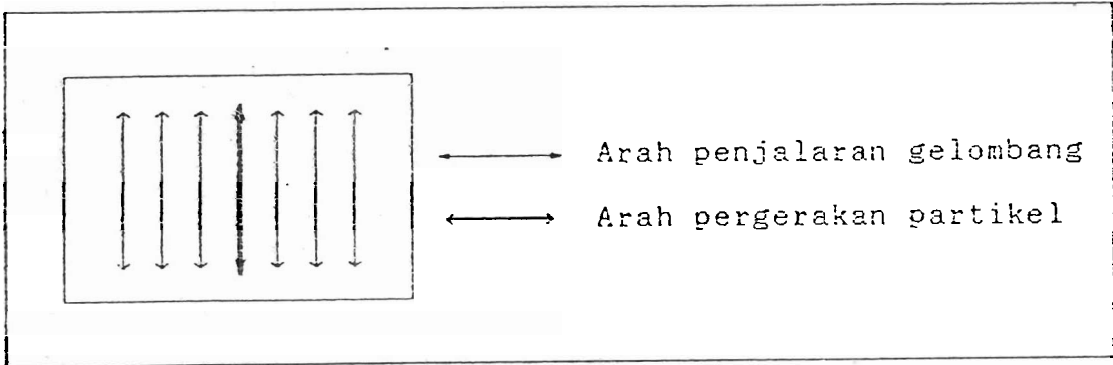
Gelombang ultrasonik sendiri berdasarkan arah pergerakan partikel-partikel medium terhadap arah penjalaran gelombang dapat dibedakan menjadi tiga jenis gelombang, yaitu gelombang longitudinal, gelombang transversal dan gelombang permukaan.

2.3.1 Jenis Gelombang

a. Gelombang Longitudinal

Apabila arah pergerakan partikel-partikel medium sama dengan arah penjalaran gelombang maka gelombang tersebut dinamakan *gelombang longitudinal* atau *gelombang tekanan*.

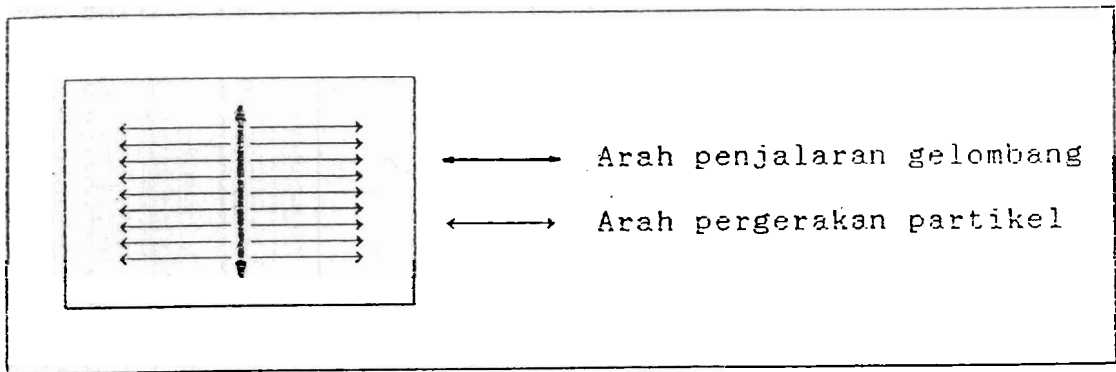
Gelombang longitudinal ini dapat dijalarkan dalam medium padatan maupun medium fluida cair dan gas.



Gambar 2.6. Gelombang Longitudinal

b. Gelombang Transversal

Arah pergerakan partikel-partikel medium dapat juga menyudut terhadap arah penjalaran gelombang. Gelombang seperti ini disebut *gelombang transversal* atau *gelombang geser*. Pada penggunaan-penggunaan praktis gelombang ini tidak dapat dibangkitkan didalam fluida cairan.



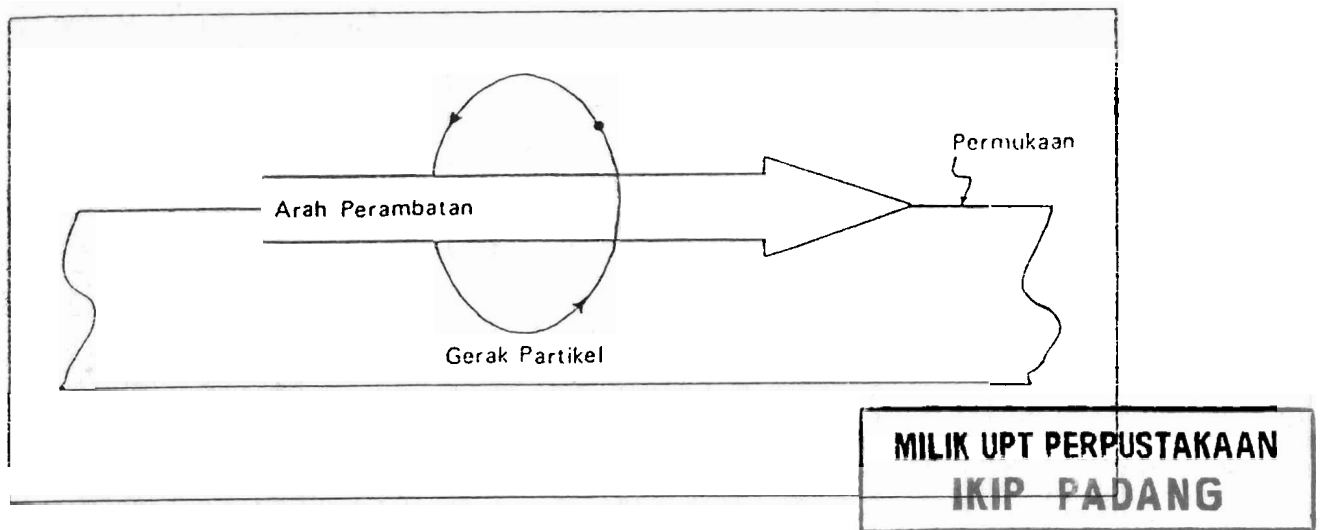
Gambar 2.7. Gelombang Transversal

Umumnya, kecepatan penjalaran gelombang transversal setengah kali kecepatan penjalaran gelombang longitudinal pada medium yang sama.

c. Gelombang Permukaan

Penjalaran gelombang ultrasonik dapat juga terjadi di permukaan padatan. Gelombang seperti ini disebut *gelombang permukaan*. *Gelombang Rayleigh* adalah gelombang permukaan yang terjadi pada padatan yang ketebalannya pada arah normal (tegak lurus terhadap permukaan medium) lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang λ .

Kecepatan penjalaran Rayleigh lebih kecil dibandingkan kecepatan penjalaran gelombang transversal, yaitu besarnya sekitar 0.9 kali.

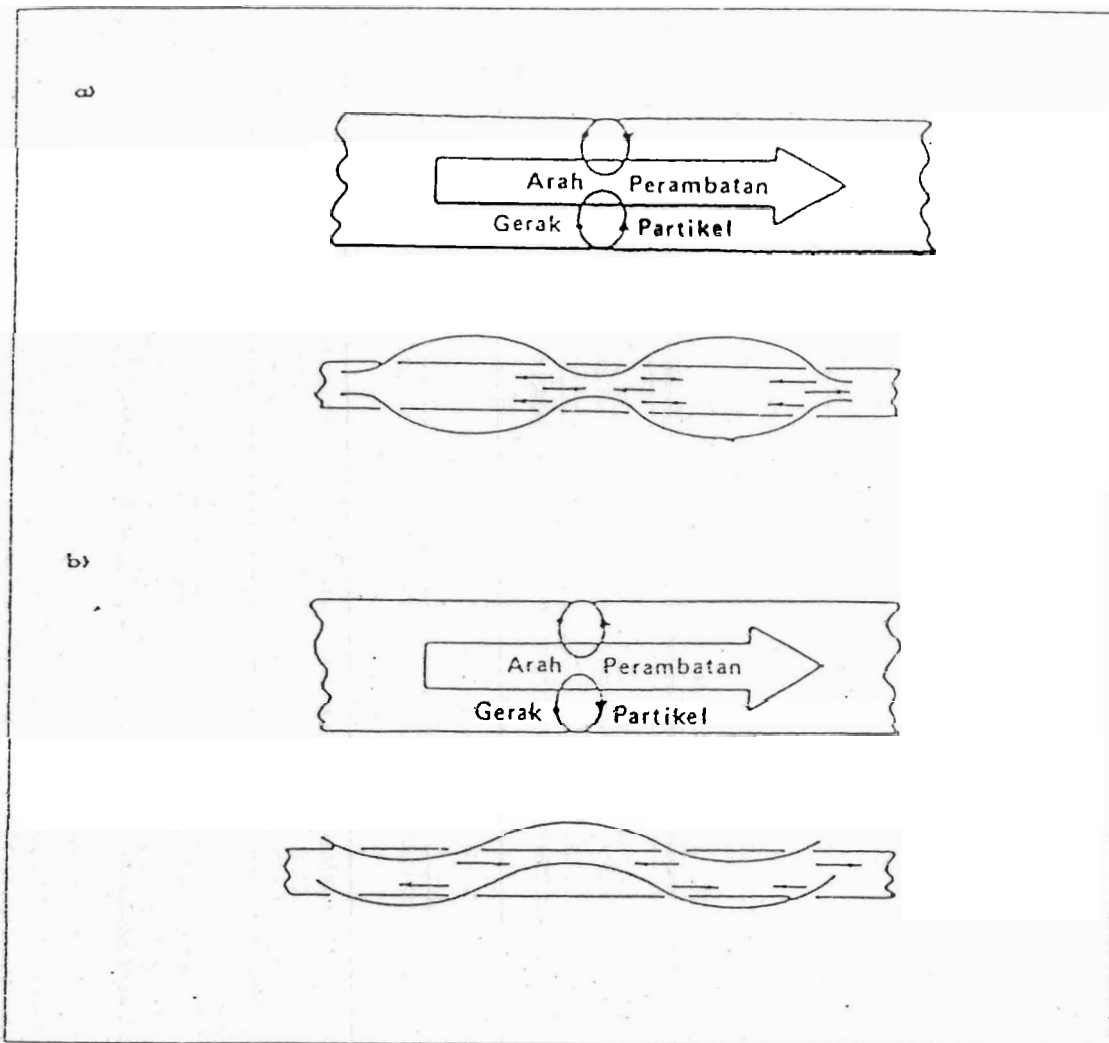


Gambar 2.8. Gelombang Rayleigh

Penjalaran gelombang permukaan murni kecuali bila panjang gelombang lebih kecil dibandingkan tebal plat. Hal ini memungkinkan timbulnya bermacam-macam konversi *gelombang plat*,

seperti gelombang transversal murni yang arah getarnya paralel terhadap permukaan medium (yang disebut *gelombang Love*).

Gelombang plat yang lain adalah *gelombang Lamb* yang komponen getarnya menyudut terhadap permukaan. Gelombang ini terjadi pada plat tipis yang ketebalannya sebanding dengan panjang gelombang λ . Gelombang Lamb ini dibedakan menjadi 2 jenis menurut arah perpindahan partikelnya, yaitu *simetri* dan *asimetri*.



Gambar 2.9. Gelombang Lamb
a. Simetri b. asimetri

Kecepatan penjalaran gelombang ini tergantung pada ketebalan plat, jenis medium penjalarnya, orde mode, serta frekuensinya.

Gelombang plat yang menjalar pada padatan melingkar disebut *gelombang batang (rod wave)*, yang memungkinkan terjadinya bermacam-macam konversi mode seperti *gelombang pintir (torsion wave)*, *gelombang lentur (flexural wave)* dan *gelombang radial*.

Gelombang Head yang juga dikenal sebagai *gelombang-P* adalah gelombang geser yang mengalami polarisasi secara longitudinal. Gelombang ini dihasilkan dari konversi mode sinambung ketika gelombang lewat di permukaan bebas dengan kecepatan penjalaran yang lebih besar daripada kecepatan *gelombang Bulk* dalam material.

Meskipun gelombang Rayleigh, gelombang Lamb, serta gelombang Love sering dipergunakan secara khusus untuk pemeriksaan material dengan gelombang ultrasonik, jenis yang paling penting secara industri adalah gelombang longitudinal (tekan) dan gelombang transversal (geser).

2.3.2. Tekanan dan Energi

Bentuk gelombang ultrasonik dapat saja berupa fungsi yang sembarang, tetapi yang paling penting adalah yang berbentuk fungsi sinusoidal dan dalam penggunaannya paling sering digunakan gelombang longitudinal.[1].

Ditulisakan lagi persamaan gelombang (2.5) dengan perpindahan u_x sebagai parameteranya.

$$\partial^2 u_x / \partial t^2 = C^2 \partial^2 u_x / \partial x^2$$

dimana C adalah kecepatan gelombang longitudinal.

Jawab lengkap dari persamaan diatas adalah :

$$u_x = u_1 e^{j(\omega t - kx)} + u_2 e^{j(\omega t + kx)} \dots\dots\dots (2.28)$$

dimana :

ω = frekuensi sudut

= $2\pi f$, f = frekuensi

k = bilangan gelombang

= $\omega/C = 2\pi/\lambda$

u_1 = amplitudo gelombang yang menjalar dalam arah positif

u_2 = amplitudo gelombang yang menjalar dalam arah negatif

Bila persamaan diatas diturunkan terhadap x maka akan didapat:

$$\partial u_x / \partial x = -jk u_1 e^{j(\omega t - kx)} + jk u_2 e^{j(\omega t + kx)}$$

dari persamaan (2.10 dan (2.15), yaitu :

$$e_{xx} = \partial u_x / \partial x$$

$$\sigma_{xx} = (\lambda + 1\mu) e_{xx}$$

akan didapatkan pernyataan untuk tekanan p_x :

$$p_x = -(\lambda + 2\mu) \partial u_x / \partial x$$

dimana menurut perjanjian $p_x = -\sigma_{xx}$ (p_x merupakan tegangan yang mempunyai arah kedalam). Dengan memasukkan pernyataan

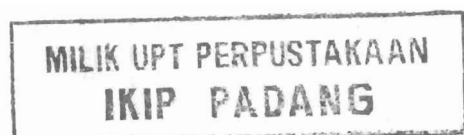
untuk $\partial u_x / \partial x$ ke dalam persamaan diatas akan didapatkan :

$$p_x = jk (\lambda + 2\mu) \left\{ u_1 e^{j(\omega t - kx)} - u_2 e^{j(\omega t + kx)} \right\},$$

karena

$$k (\lambda + 2\mu) = \omega (\lambda + 2\mu)/C$$

dan



$$C = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad \text{atau} \quad (\lambda + 2\mu) = \rho C^2$$

maka

$$k (\lambda + 2\mu) = \rho \omega C$$

jadi akan didapatkan

$$p_x = j \rho \omega C \left\{ u_1 e^{j(\omega t - kx)} - u_2 e^{j(\omega t + kx)} \right\}, \dots \dots (2.29)$$

Yang dapat juga ditulis sebagai :

$$p_x = p_1 e^{j(\omega t - kx)} + p_2 e^{j(\omega t + kx)} \dots \dots \dots (2.30)$$

dimana

$$p_1 = j \rho \omega C u_1 \quad \text{dan} \quad p_2 = - j \rho \omega C u_2$$

Bila u_x pada persamaan (2.28) diturunkan terhadap t akan didapatkan pernyataan untuk kecepatan partikel :

$$v_x = j \omega \left\{ u_1 e^{j(\omega t - kx)} + u_2 e^{j(\omega t + kx)} \right\},$$

atau

$$v_x = \frac{1}{\rho C} \left\{ P_1 e^{j(\omega t - kx)} - P_2 e^{j(\omega t + kx)} \right\},$$

Sekarang pandang suatu elemen dari medium yang bermassa m . Dengan adanya gelombang ultrasonik yang lewat (hanya dalam arah x positif) didalam medium maka perpindahan dari elemen tadi adalah :

$$u_x = u_0 e^{j(\omega t - kx)}$$

dimana u_0 adalah amplitudo perpindahan.

Untuk menentukan energinya dihitung lebih dahulu energi kinetiknya yang berarti harus menghitung kecepatannya.

Kecepatan elemen adalah :

$$v_x = j \omega u_0 e^{j(\omega t - kx)}$$

Energi gelombang ultrasonik yang dipunyai oleh elemen adalah :

$$E = E_p + E_k$$

dimana

E_p = Energi potensial

E_k = Energi kinetik

Pada saat elemen berada di titik keseimbangannya maka energi potensialnya nol sedang energi kinetiknya maksimum. Oleh karena jumlah kedua energi ini selalu konstan maka energinya akan sama dengan :

$$E = E_{k\text{maks}}$$

atau

$$E = \frac{1}{2} m v_{\text{maks}}^2$$

Kecepatan maksimum tentunya sama dengan amplitudo kecepatan :

$$v_{\text{maks}} = \omega u_0$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } E &= \frac{1}{2} m \omega^2 u_0^2 \dots\dots\dots (2.32) \\ &= \frac{1}{2} m (2\pi f)^2 u_0^2 \\ &= 2\pi^2 m f^2 u_0^2 \end{aligned}$$

Terlihat bahwa energi gelombang ultrasonik sebanding dengan kuadrat dari frekuensi dan kuadrat dari amplitudo perpindahannya. Bila rapat massa dari medium adalah ρ maka di dalam suatu volume V akan ada elemen sebanyak

$$n = \frac{\rho V}{m}$$

Jumlah total energi yang didalam volume V adalah :

$$\begin{aligned} E &= n \frac{1}{2} m \omega^2 u_0^2 \\ &= \frac{\rho V}{m} \frac{1}{2} m \omega^2 u_0^2 \\ &= \frac{1}{2} \rho V \omega^2 u_0^2 \end{aligned}$$

Jadi rapat energi yang didefinisikan sebagai jumlah

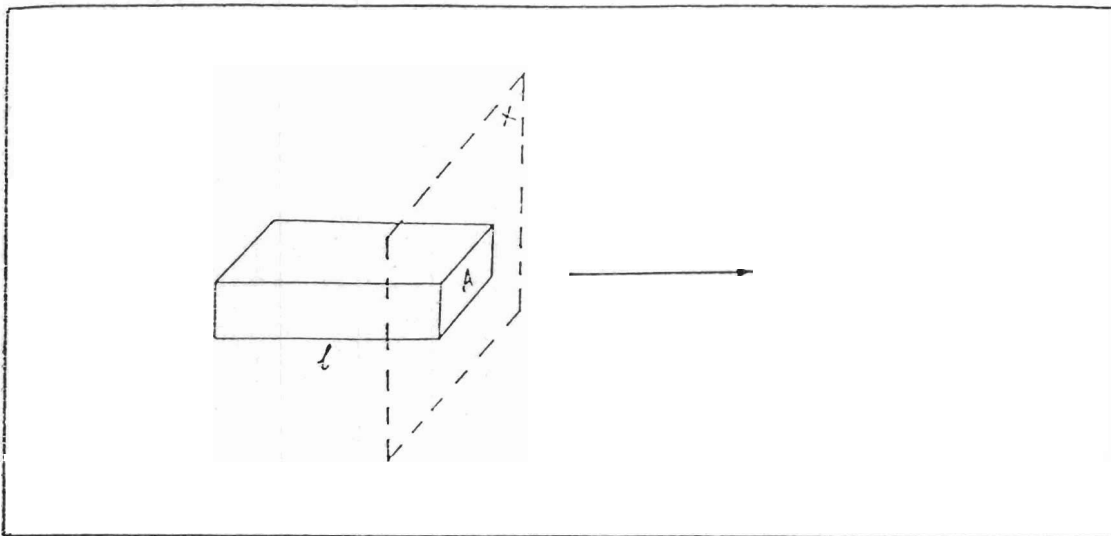
energi dari semua partikel-partikel didalam satu satuan volume adalah :

$$\epsilon = \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_0^2 \dots\dots\dots (2.33)$$

Sekarang ditinjau mengenai pengertian intensitas. Intensitas adalah jumlah daya yang melewati permukaan sebesar satu satuan luas. Untuk menentukan intensitas ini, pandang suatu elemen volume berbentuk balok dengan panjang l dan luas penampang A seperti terlihat pada gambar 2.10. Energi total di dalam elemen volume ini adalah :

$$E = \epsilon \cdot l \cdot A$$

$$= \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_0^2 \cdot l \cdot A$$



Gambar 2.10. Elemen Volume Untuk Menentukan Intensitas

Karena energi ini ditransmisikan dengan kecepatan C maka seluruh energi total tersebut diatas akan melewati permukaan/bidang x dalam waktu l/C . Dengan demikian daya yang di transmisikan adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{E}{l/C} \\
 &= \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_0^2 l A \frac{C}{l} \\
 &= \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_0^2 C A
 \end{aligned}$$

Jadi intensitas akan sama dengan :

$$I = \frac{1}{2} \rho \omega^2 u_0^2 C \dots\dots\dots (2.34)$$

Untuk gelombang ultrasonik yang menjalar hanya dalam arah x positif, maka lihat persamaan (2.30) dan (2.31), tekanan dan kecepatan partikel dapat dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned}
 P_x &= P_o e^{j(\omega t - kx)} \\
 V_x &= V_o e^{j(\omega t - kx)}
 \end{aligned}$$

dimana :

P_o = amplitudo tekanan
 V_o = amplitudo kecepatan

dan

$$V_o = \frac{P_o}{\rho C}$$

Dari hubungan

$$V_o = \omega u_o$$

maka dari persamaan (2.33) rapat energi dapat dinyatakan sebagai :

$$e = \frac{\rho V_o^2}{2} = \frac{P_o^2}{2\rho C^2} \dots\dots\dots (2.35)$$

dan dari persamaan (2.34) intensitas dapat ditulis dengan

$$I = \frac{\rho C V_o^2}{2} = \frac{P_o^2}{2\rho C} \dots\dots\dots (2.36)$$

2.3.3. Impedansi Akustik

Impedansi Akustik didefinisikan sebagai hasil bagi antara tekanan akustik dan kecepatan partikel, yaitu :

$$Z = p_x / v_x \text{ atau}$$

$$Z = \rho C \left[\frac{P_1 e^{-jkx} + P_2 e^{jkx}}{P_1 e^{-jkx} - P_2 e^{jkx}} \right] \dots\dots\dots (2.37)$$

Pada umumnya impedansi ini berbentuk kompleks karena P_1 dan P_2 merupakan besaran-besaran kompleks. Bila hanya ditinjau gelombang ultrasonik dalam arah x positif saja maka impedansi akustik ini merupakan bilangan riil.

$$Z = \omega C \dots\dots\dots (2.38)$$

Besaran Z ini disebut *impedansi akustik spesifik* bahan yang jika dianalogikan dalam bentuk listrik merupakan tahanan murni, karena tekanan dan kecepatan partikel mempunyai fasa yang sama.

2.3.4. Atenuasi Gelombang

Dalam perambatannya, energi gelombang ultrasonik makin lama makin berkurang. Hal ini disebabkan oleh :

- Peristiwa gelombang seperti pemantulan dan pembiasan
- Absorpsi oleh bahan.

Adanya atenuasi ini dapat ditunjukkan oleh persamaan :

$$p_x = P_0 e^{-\alpha x} e^{j(\omega t - kx)} \dots\dots\dots (2.39)$$

dimana α adalah koefisien atenuasi tekanan. Pada persamaan tersebut terlihat, jika gelombang merambat makin jauh, maka tekanan gelombangnya makin kecil sehingga energi gelombangnya

makin lemah.

Umumnya, besarnya koefisien atenuasi berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi gelombang, sehingga jika frekuensi gelombang makin tinggi, maka atenuasinya akan makin besar.

2.3.5. Pemantulan dan Pembiasan

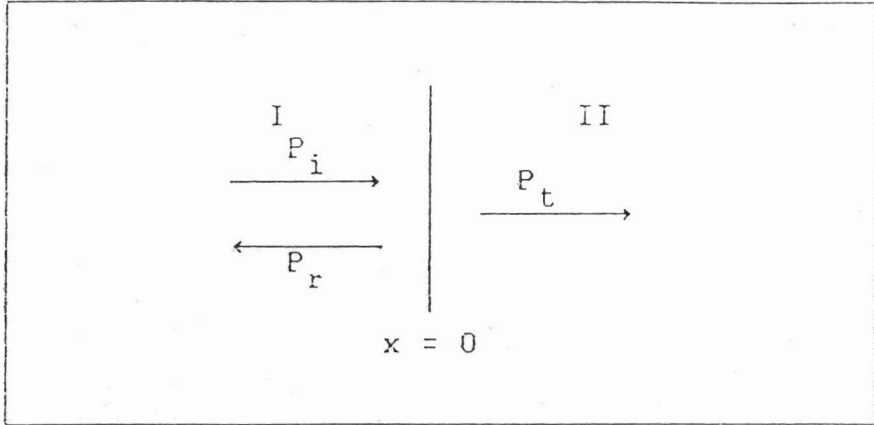
Dalam penjalarnya, gelombang ultrasonik memiliki beberapa kemungkinan seperti *pemantulan dan pembiasan* yang disertai konversi mode jika bertemu dengan permukaan bebas padatan, permukaan bebas butir, maupun permukaan yang memisahkan dua medium yang berbeda impedansi akustiknya. Seluruh permukaan tersebut mengakibatkan arah penjalarnya gelombang berubah sehingga tekanan akustiknya atau intensitasnya turun.

Pada sub bab pemantulan dan pembiasan ini hanya akan membahas tentang gelombang ultrasonik yang datang normal pada bidang batas, sesuai dengan apa yang dilakukan dalam percobaan.

a. Gelombang Datang Normal Pada Bidang Batas Dari Dua Medium Yang Berlainan

Bila gelombang ultrasonik datang tegak lurus pada bidang batas maka akan ada gelombang yang di pantulkan dan ditransmisikan seperti terlihat pada gambar 2.11. Karena datang normal pada bidang batas maka baik gelombang yang datang, yang di pantulkan maupun yang ditransmisikan akan mempunyai arah pada sumbu x. Tekanan gelombang yang datang dari medium I dengan arah x positif dapat dinyatakan dengan :

$$P_i = A_1 e^{j(\omega t - k_1 x)} \dots\dots\dots (2.40)$$



Gambar 2.11. Bidang Batas Dua Medium

Tekanan yang dipantulkan kembali kedalam medium I akan mempunyai arah x negatif dan dapat dinyatakan dengan :

$$P_r = A_1 e^{j(\omega t + k_1 x)} \dots\dots\dots (2.41)$$

Sedang gelombang yang ditransmisikan kedalam medium II akan mempunyai arah x positif dan dapat dinyatakan dengan :

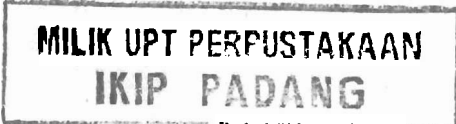
$$P_t = A_1 e^{j(\omega t - k_2 x)} \dots\dots\dots (2.42)$$

Pada ketiga persamaan diatas :

$$k_1 = \frac{\omega}{C_1} \text{ dan } k_2 = \frac{\omega}{C_2}$$

Karena impedansi akustik spesifik merupakan perbandingan antara tekanan dan kecepatan pertikel maka :

$$\frac{P_x}{v_x} = \rho C \left[\frac{P_1 e^{-jkx} + P_2 e^{jkx}}{P_1 e^{-jkx} - P_2 e^{jkx}} \right]$$



akan didapatkan bahwa untuk gelombang dengan arah x positif mempunyai impedansi akustik spesifik :

$$z_+ = \rho C$$

sedangkan untuk gelombang dengan arah x negatif mempunyai impedansi akustik spesifik :

$$z_- = -\rho C$$

Dengan demikian, kecepatan partikel untuk gelombang yang datang, yang dipantulkan dan yang ditransmisikan dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan berikut :

$$v_i = \frac{P_i}{\rho_1 C_1} ; v_r = \frac{P_r}{-\rho_1 C_1} ; v_t = \frac{P_t}{\rho_2 C_2}$$

Ada dua syarat batas yang harus dipenuhi untuk setiap waktu dan pada setiap titik di bidang batas antara dua medium, yaitu :

1. Tekanan akustik pada kedua sisi dari bidang batas harus sama
2. Kecepatan partikel normal pada kedua sisi bidang batas harus sama

Dari kondisi batas pertama akan didapat :

$$P_i + P_r = P_t$$

$$A_1 e^{j\omega t} + B_1 e^{j\omega t} = A_2 e^{j\omega t}$$

sehingga :

$$A_1 + B_1 = A_2 \quad \dots\dots\dots (2.43)$$

Dari kondisi batas kedua akan didapat :

$$v_i + v_r = v_t$$

$$\frac{P_i}{\rho_1 C_1} - \frac{P_r}{\rho_1 C_1} = \frac{P_t}{\rho_2 C_2}$$

Sehingga :

$$\rho_2 C_2 (A_1 - B_1) = \rho_1 C_1 A_2 \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan menghilangkan A_2 dari persamaan-persamaan (2.43) dan (2.44) akan didapatkan hubungan antara amplitudo tekanan gelombang yang dipantulkan dan amplitudo tekanan gelombang yang datang, yaitu :

$$B_1 = \left[\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right] A_1 \quad \dots\dots\dots (2.45)$$

Bila ditinjau intensitasnya, maka karena hubungan intensitas dan tekanan adalah :

$$I = \frac{P^2}{2\rho C}$$

perbandingan anatar intensitas yang dipantulkan dan intensitas yang datang adalah :

$$\frac{I_r}{I_i} = \frac{B_1^2}{A_1^2}$$

Perbandingan ini disebut koefisien refleksi daya yang dinyatakan dengan :

$$\alpha_r = \left[\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right]^2 \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

Dengan menghilangkan B_1 dari persamaan-persamaan (2.43) dan (2.44) akan didapatkan hubungan antara amplitudo tekanan gelombang yang ditransmisikan dan amplitudo tekanan gelombang

yang datang yaitu :

$$A_2 = \left[\frac{2\rho_2 C_2}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right] A_1 \dots\dots\dots (2.47)$$

Perbandingan antara intensitas gelombang yang ditransmisikan dan intensitas gelombang yang datang adalah :

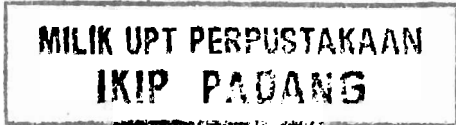
$$\frac{I_t}{I_i} = \frac{\frac{A_2^2}{2\rho_2 C_2}}{\frac{A_1^2}{2\rho_1 C_1}} = \frac{\rho_1 C_1}{\rho_2 C_2} \cdot \frac{A_2^2}{A_1^2}$$

Perbandingan ini disebut sebagai koefisien transmisi daya yang dinyatakan dengan :

$$\alpha_t = \frac{4\rho_1 C_1 \rho_2 C_2}{(\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2} \dots\dots\dots (2.48)$$

2.4. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KECEPATAN GELOMBANG DI DALAM BATUAN

Kecepatan gelombang yang merambat dalam batuan tergantung pada sifat-sifat elastik dari batuan tersebut. Dan tiap batuan memiliki harga parameter elastik sendiri. Hal ini karena pengaruh berbagai faktor yang mengakibatkan perbedaan kecepatan gelombang merambat di dalamnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang di dalam batuan adalah : *jenis batuan, komposisi mineral dan ukuran butir, density, porositas, anisotropik, tekanan, kandungan air dan temperatur.*



2.4.1. Jenis Batuan

Dapat dikatakan bahwa cepat rambat gelombang akan lebih besar pada batuan yang lebih rapat dan kompak, lebih kecil pada batuan yang kurang rapat dan kurang kompak.

Untuk beberapa jenis batuan, batas variasi kecepatan gelombang cukup besar. Sebagai contoh, batu gamping mempunyai cepat rambat dari 2 sampai 6 km/detik. Ini disebabkan karena tekstur batu gamping ada bermacam-macam. Kandungan utama batu pasir dan granit adalah mineral silika. Tapi, karena berbeda struktur, berbeda pula kecepatan gelombang merambat di dalamnya

2.4.2. Komposisi Mineral dan Ukuran Butir Batuan

Birch (1943) menegaskan bahwa kecepatan gelombang dalam batuan ditentukan pula oleh berbagai komponen mineral pembentuk batuan. Ramana dan Venkatanarayana (1973) mendapatkan hubungan bahwa kecepatan gelombang naik pada batuan yang kandungan hornblendanya lebih besar. Sebaliknya kecepatan turun jika kandungan kuarsa semakin tinggi.

Untuk ukuran butir batuan, kecepatan gelombang akan lebih besar pada batuan yang berbutiran halus daripada butiran kasar.

2.4.3. Density

Density sebagai penunjuk kerapatan zat merupakan faktor utama penentu kecepatan gelombang dalam batuan. Secara fisis, gelombang merambat lebih cepat dalam zat yang lebih rapat.

2.4.4. Porositas

Kecepatan gelombang turun dengan kenaikan porositas, sebab rongga batuan yang semakin besar akan memperlambat gerak gelombang. Gejala ini berlaku untuk batuan yang kering maupun yang jenuh air.

2.4.5. Anisotropik

Diskontinu batuan berupa perlapisan menunjukkan bahwa batuan bersifat anisotropik. Pada batuan berlapis, kecepatan gelombang elastik akan lebih besar sewaktu menyusuri lapisan daripada sewaktu menembus lapisan tersebut.

2.6.6. Tekanan

Suatu contoh batuan dapat dikenakan tekanan hidrostatik, tekanan triaksial, dan tekanan uniaksial. Ternyata kecepatan gelombang yang arahnya sejajar tekanan akan lebih besar daripada yang tegak lurus tekanan.

2.4.7. Kandungan air

Pembasahan terhadap batuan berpori akan merubah cepat rambat gelombang didalamnya. Pada porositas tertentu, kecepatan gelombang akan bertambah besar dengan adanya peningkatan derajat kejenuhan air. Hal ini dikarenakan kecepatan gelombang di air jauh lebih besar daripada di udara.

2.4.8. Temperatur

Umumnya penambahan temperatur akan menurunkan kecepatan gelombang. Menurut Jones dan Facaoaru bahwa variasi temperatur antara 5 sampai 30^o C tidak mempengaruhi secara berarti terhadap pengukuran kecepatan gelombang. Pada temperatur

antara 30 dan 60°C akan menurunkan kecepatan gelombang sampai 5%, hal ini dikarenakan terbentuknya microcrack. Pada temperatur di bawah titik beku akan memperbesar kecepatan gelombang, pada temperatur -4°C kecepatan gelombang akan bertambah besar sampai 7,5% .

2.5. BEBERAPA MODULUS ELASTIK DINAMIK KOMBINASI HARGA CEPAT RAMBAT GELOMBANG P DAN S

Sifat elastik zat padat dapat diukur secara dinamik melalui kecepatan gelombang elastik yang melaluinya. Dari teori penjalaran gelombang elastik diperoleh :

$$G = \rho \cdot V_s^2 \quad (\text{Modulus Geser})$$

$$\lambda = \rho \cdot (V_p^2 - 2V_s^2) \quad (\text{Konstanta Lamé})$$

$$\phi = \frac{1/V_p - 1/V_{so}}{1/V_{so}} 100 \% \quad (\text{Porositas})$$

$$K = \frac{2(1 - \gamma)}{3(1 - 2\gamma)} \cdot G \quad (\text{Modulus Bulk})$$

$$\gamma = \frac{1 - 2(V_s/V_p)^2}{2 - 2(V_s/V_p)^2} \quad (\text{Poisson's Ratio})$$

$$E = 2(1 + \gamma) \cdot G \quad (\text{Modulus Elastik})$$

dimana:

Vp = kecepatan gelombang P

Vs = kecepatan gelombang S

Vu = kecepatan gelombang P di udara = 340 m/det

Vso = kecepatan gelombang P pada padatan kwarsa

(= 5480,6 m/det data Schlumberger)

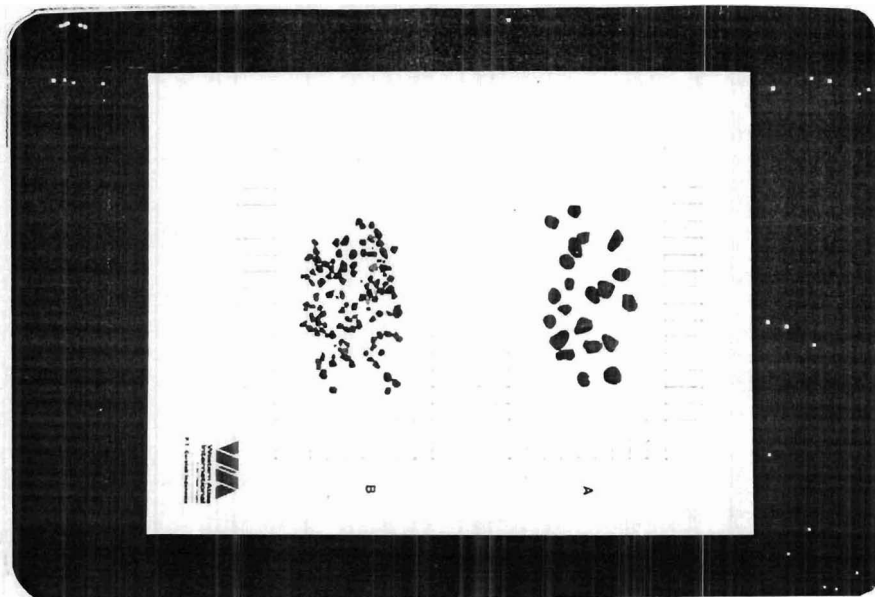
ρ = rapat massa



BAB III. PENGUKURAN

3.1 Metode Pengukuran

Untuk melakukan pengukuran sifat-sifat batuan yang berasal dari alam dibor berbentuk silinder dengan perbandingan diameter : panjang = 1 : 2. Untuk batuan buatan (berupa beton) dibuat dari campuran semen, pasir, kerikil dengan perbandingan 1:2:3 dan 3:1:1.. Kerikil dipisah-pisah berdasarkan diameternya yaitu (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,9; 0,9-1,5; 1,5-2,4; dan 2,4-3,5) cm, dan campuran semen, pasir, split(pecahan batu) dengan perbandinan 1:2:3 dan 3:1:1. Split dipisah berdasarkan diameter terpanjang, yaitu (0,9-1,5; 1,5-2,5; 0,1-2,5(tipis); campuran), seperti gambar:



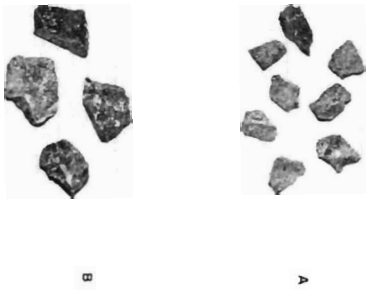
Gambar.1 (a) Kerikil dengan diameter 0,2 - 0,4
(b) Kerikil dengan diameter 0,4 - 0,9



Gambar.2 (a) Kerikil dengan diameter 0,9 - 1,5
(b) Kerikil dengan diameter 1,5 - 2,4



Gambar.3 (a) Kerikil dengan diameter 0 - 0,2
(b) Kerikil dengan diameter 2,4 - 3,5

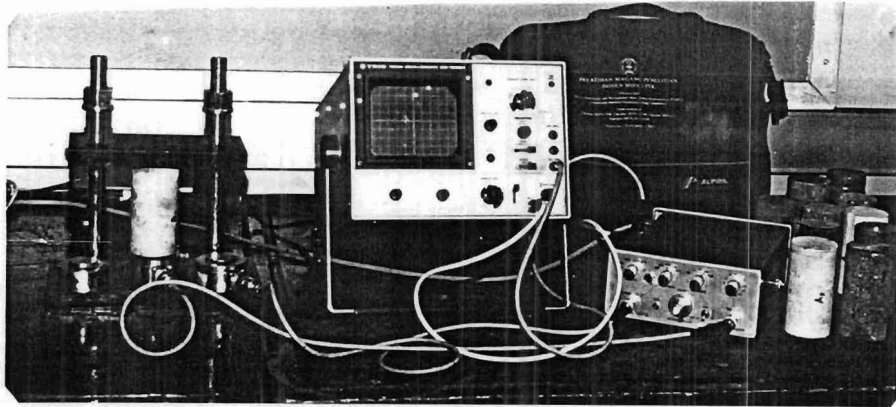


Gambar.4 (a) Split dengan diameter 0,9 - 1,5
(b) Split dengan diameter 1,5 - 2,5



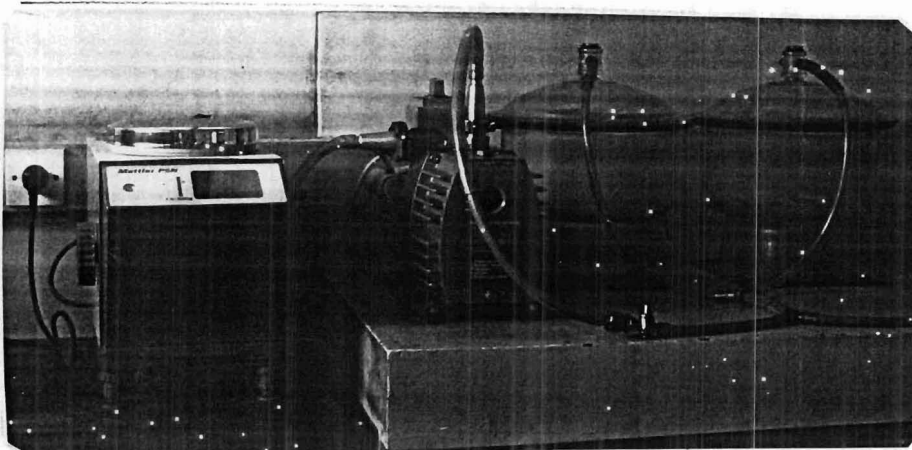
Gambar.5 (a) Split dengan diameter 0,1 - 2,5 (tipis)
(b) Split dengan diameter 0,2 - 0,4

Dari pengukuran dihitung delay time, Amplitudo, lebar pulsa memberikan konstanta elastik(Poisson's Ratio, Modulus Young, Modulus Geser, Modulus Bulk, Konstanta Lamé), dengan metoda pulsa ultrasonik gelombang S dan gelombang P menggunakan Sonic Viewer, seperti gambar:



Gambar. 6 Sonic Viewer

Pengukuran berat asli(natural), berat jenuh(saturated), berat kering, untuk menentukan porositas menggunakan timbangan listrik, oven, eksikator dilengkapi dengan pompa vakum , seperti gambar:



Gambar. 7 Timbangan listrik, pompa vakum dan eksikator

Semua pengukuran dilakukan pada batuan dengan kondisi kering(dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan temperatur 90°C.

3.2 Metoda Persiapan

Batuan alam yang diukur diperoleh di sungai Cibogo, Padalarang dan di Gunung Batu, Lembang. Batuan tersebut dapat dibedakan menjadi tiga bagian:

1. Batu gamping dengan kode A1, A3, A5, B3 dan C1, deskripsi secara umum:

A1, A5 : klastik, fragmen pembentuk: fosil, lumpur karbonat, kristalkalsit, pemilahan buruk, butiran menyudut, kemas mengambang, nama *Grainstone* (klasifikasi menurut Dunham)

A3 : Batugamping kristalin (Sedimen gamping yang mengalami kristalisasi), kristal-kristal kalsit (CaCO_3).

B3 : Napal (lempung karbonatan)

C1 : Butiran kasar, menyudut, lempungan, fragmen kepingan gamping, kwarsa, kompak(keras).

2. Batu pasir dengan kode II, IV, V, VI, B1, B2 dan B4 deskripsinya sebagai berikut:

II : Pasir breksian, fragmen menyudut tanggung, plagioklas, kwarsa, semen silika, kemas mengambang, pemilahan buruk, butiran kasar, kompak.

- IV Batu pasir kerikilan, fragmen menyudut tanggung, lithik, semen silika, kemas mengembang, pemilihan buruk, kompak.
- V,VI : Breksi, fragmen menyudut baik. lithik, tufaan, kemas mengembang, pemilahan sangat buruk, kompak.
- B1,B2 : Batu pasir greywacke, fagmen menyudut tanggung, kasar, mineral hijau(piroksen, olivin, hornblende), pemilahan buruk, kemas bersentuhan, mineral sedikit klorit, kompak.
- B4 : Batu pasir fragmen menyudut tanggung, olivin, piroksen, kwarsa, plagioklas, lempungan, pemilahan buruk, kasar, kemas bersentuhan, kompak.

3. Batu beku dengan kode I, III, VII, VIII, B7 dan C2, deskripsinya sebagai berikut:

- I,III : Andesit, butiran halus, plagioklas berupa matrik, piroksen, hornblende, sedikit kwarsa, kompak.
- VII : Andesit-piroksen, butiran halus, piroksen, plagioklas, K-felspar, sedikit kwarsa, sangat kompak.
- B7 : Batuan beku asam, Granit, butiran kasar, plagioklas, K-felspar, sedikit biotit, kompak.
- C2 : Ryollite, butiran sangat halus, fragmen kasar(5%): biotit, plagioklas, kwarsa, K-felspar, kompak.

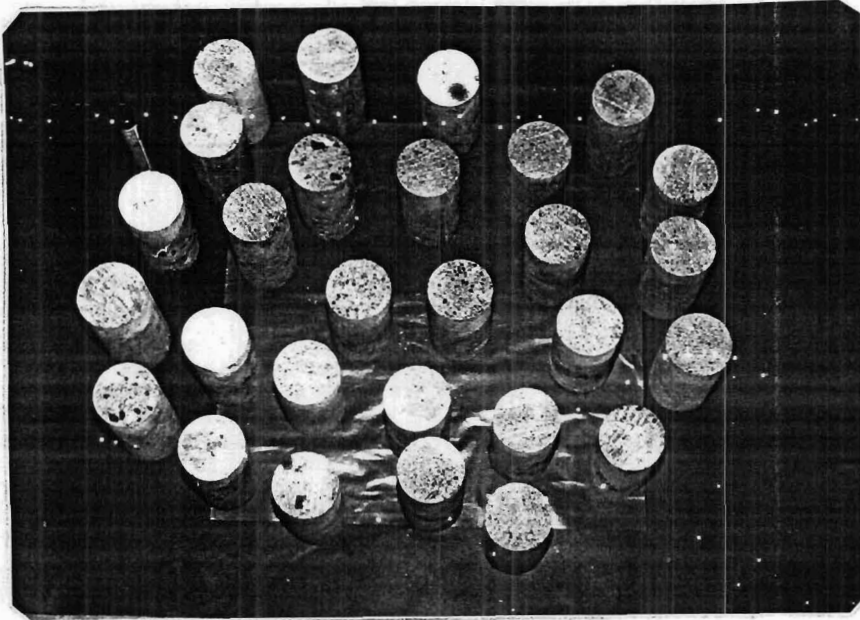
Logam terdiri dari: besi, tembaga, timbal dan aluminium.

Batuan buatan dibuat dari :

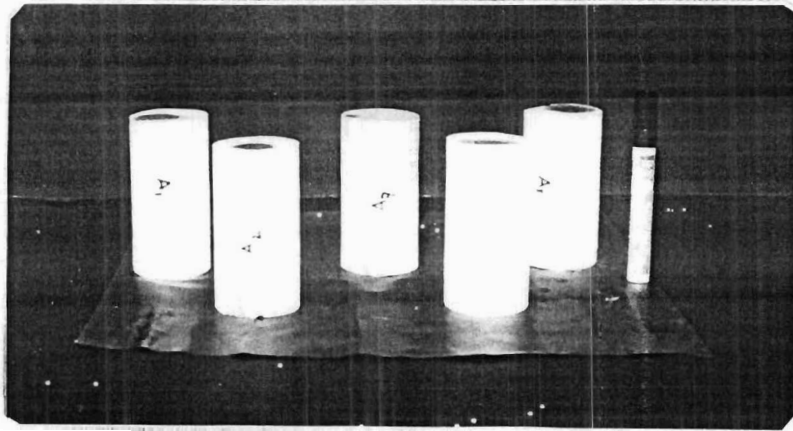
1. Campuran semen, pasir, kerikil (1:2:3) dan (3:1:1) dengan nomor sampel (A1a, A1b, A2a, A2b, A3a, A3b, A4a, A4b, A5a, A5b, A6a, A6b) dan (A12a, A12b, A22a, A22b, A32a, A32b, A42a, A42b, A52a, A52b, A62a, A62b).
2. Campuran semen, pasir, split (1:2:3) dan (3:1:1) dengan nomor sampel (B1a, B1b, B2a, B2b, B3a, B3b, B4a, B4b, dan (B12a, B12b, B22a, B22b, B32a, B32b, B42a, B42b)

Batuan dipotong-potong dengan kode II, IV, VI, A1, A5b, A42b, B4a, dan B32a.

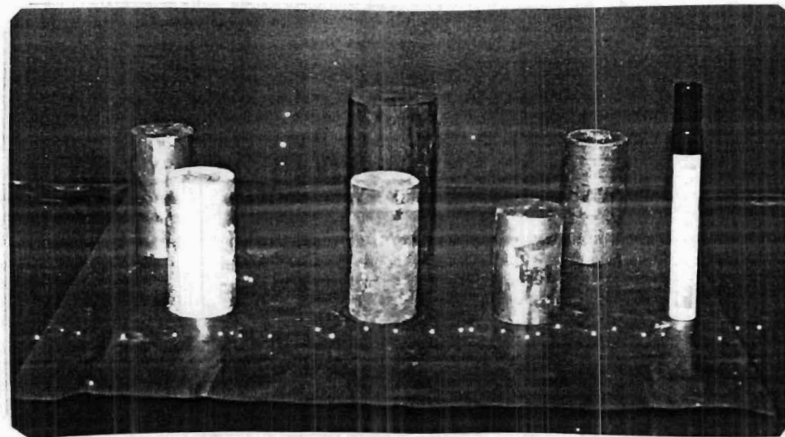
Contoh sampel dapat dilihat pada gambar di bawah



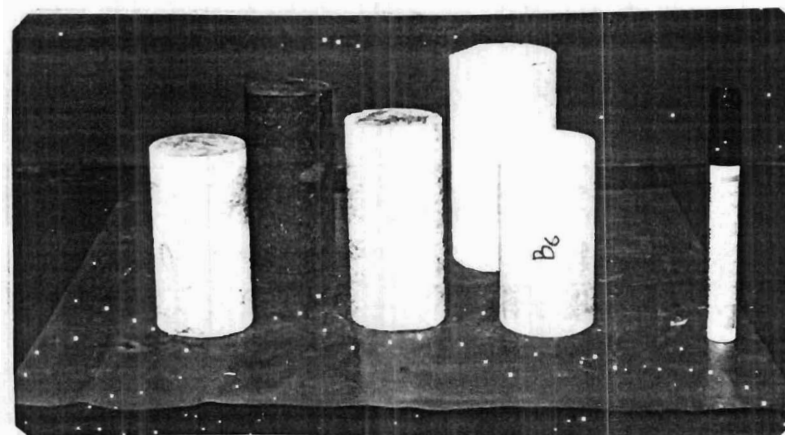
Gambar. 8 Contoh batuan buatan



Gambar. 9 Contoh batuan alam (Batu gamping)



Gambar. 10 Contoh logam



Gambar. 11 Contoh batuan alam (Batu pasir dan batu beku)

3.3 Prosedur Pengukuran

Uji Porositas Batuan

- Persiapan:
1. Siapkan sampel dengan permukaan rata dengan ketentuan tinggi sampel ≥ 2 kali diameter (setelah dipotong dan dihaluskan).
 2. Perataan permukaan dilakukan dengan menggergaji permukaan dan kemudian digosok dengan ampelas.

Penentuan Sifat Fisik

1. Pengukuran diameter dari tinggi sampel dilakukan beberapa kali
2. Sampel ditimbang diperoleh berat natural (W_n).
3. Kemudian dimasukkan ke dalam eksikator

Persiapan Eksikator :

- Eksikator dibersihkan, kemudian bibir dan bibir tutupnya diolesi vaselin.
 - Sampel dimasukkan ke dalam eksikator dengan hati-hati.
4. Udara di dalam eksikator dihisap dengan bantuan pompa vakum.
 5. Eksikator diisi air sampai sepertiga. Volume dijaga supaya udara luar jangan sampai masuk eksikator. Tes apakah udara tak ada yang masuk, dengan cara membiarkan air masuk melalui pipa.
 6. Hisap udara selama ± 10 menit
 7. Isi sampai penuh.

8. Hisap udara sampai tak ada gelembung udara yang keluar dari sampel.
9. Biarkan selama 24 jam.
10. Dari eksikator dalam keadaan basah, sampel ditimbang, didapat berat jenuh (W_s).
11. Dalam keadaan basah, ditimbang sampel dalam keadaan tergantung dalam air, didapat berat jenuh tergantung dalam air (W_o).
12. Masukkan sampel basah ke dalam oven selama 24 jam.
13. Dari oven, sampel ditimbang diperoleh berat kering (W_d).

Penentuan Konstanta Elastik :

1. Pengukuran diameter dan tinggi sampel.
2. Sampel ditimbang.
3. Dipasang ke Transduser Sonic Viewer diperoleh Delay time, Amplitudo dan lebar pulsa.
4. Sampel dilepas diperoleh Amplitudo acuan dan lebar pulsa acuan.

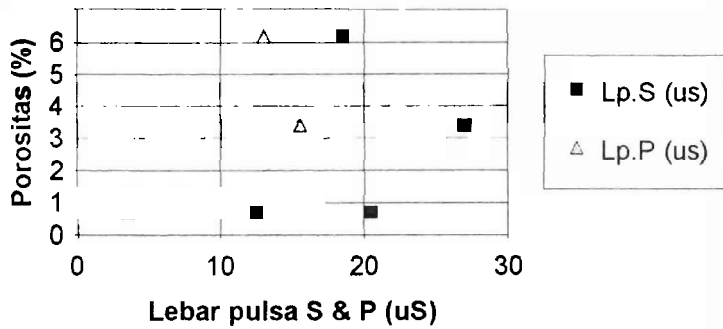
BAB IV
HASIL PENGUKURAN

Hasil pengukuran semua sampel dapat dilihat pada tabel 1, sedang untuk masing-masing jenis sampel dan grafik hubungan antara:

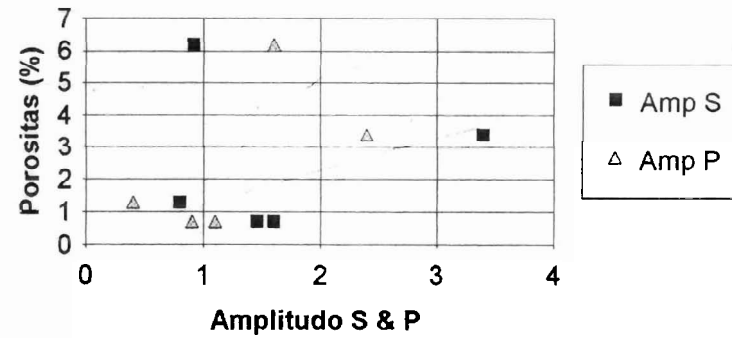
1. Porositas dan lebar pulsa gelombang S dan gelombang P
 2. Porositas dengan amplitudo gelombang S dan gelombang P
 3. Porositas dengan perkalian amplitudo dengan lebar pulsa gelombang S dan gelombang P.
 4. Porositas dengan delay time gelombang S dan gelombang P.
 5. Porositas dengan kecepatan gelombang S dan gelombang P.
 6. Porositas dengan kecepatan gelombang P dibagi kecepatan gelombang S
 7. Porositas dengan $1/\text{kecepatan}$ gelombang S dan gelombang P
 8. Lebar pulsa dengan delay time untuk porositas yang sama dan jumlah potongan yang berbeda.
 9. Porositas dengan diameter kerikil
- untuk batu gamping, batu pasir, batuan beku, logam dan bahan campuran semen, pasir, kerikil untuk perbandingan 1:2:3 dan 3:1:1, campuran semen, pasir, split dengan perbandingan 1:2:3 dan 3:1:1, dapat dilihat pada halaman berikut ini:

Batu Gamping														
poros (%)	Lp.S (us)	Lp.P (us)	Ap.S(volt)	Ap.P(volt)	LA.S(us.V)	LA.P(us.V)	Ts (us)	Tp (us)	Vs (cm/us)	Vp (cm/us)	1/Vs(us/cm)	1/Vp	Vp/Vs	
1.3	7.5	3.5	0.8	0.4	6	1.4	37	11.2	0.3011	0.9946	3.321156	1.005429	3.303222	
0.7	12.5	3.5	1.6	1.1	20	3.85	27.7	10.5	0.4029	1.0629	2.482005	0.940822	2.638124	
3.4	27	15.5	3.4	2.4	91.8	37.2	81.5	28.5	0.1543	0.4412	6.480881	2.266546	2.859365	
6.2	18.5	13	0.92	1.6	17.02	20.8	51.4	18.8	0.2257	0.617	4.43066	1.620746	2.733717	
0.7	20.5	3.5	1.46	0.9	29.93	3.15	34	11.6	0.329	0.9642	3.039514	1.037129	2.930699	

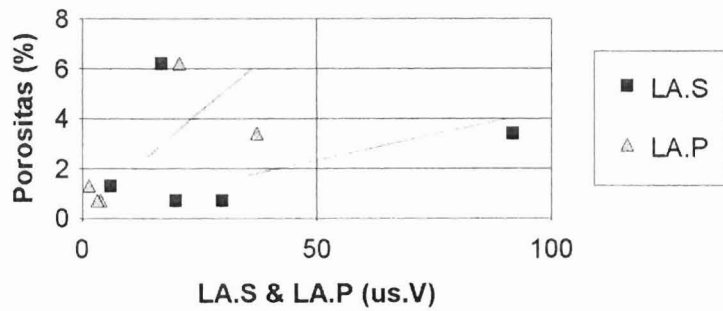
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Batu Gamping



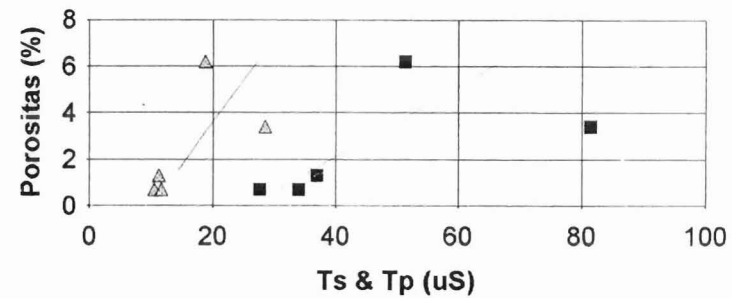
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Batu Gamping



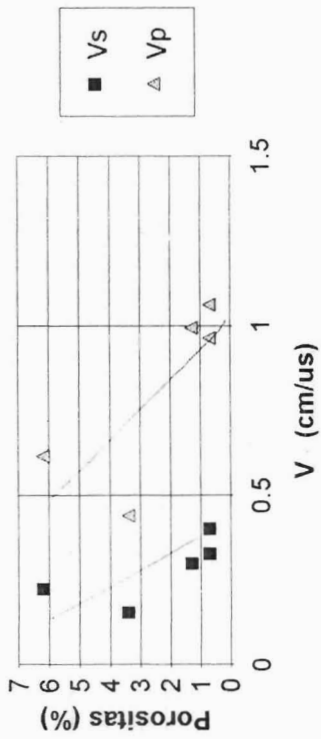
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Batu Gamping



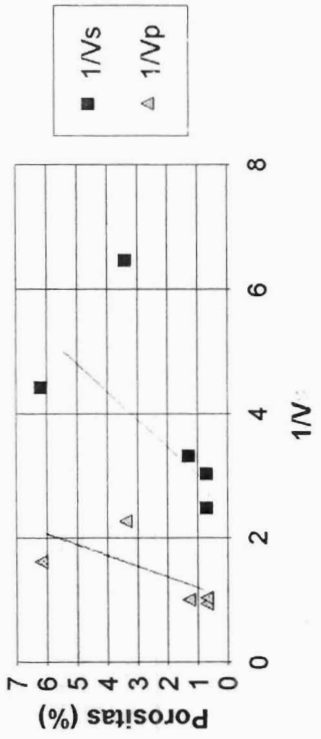
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Batu Gamping



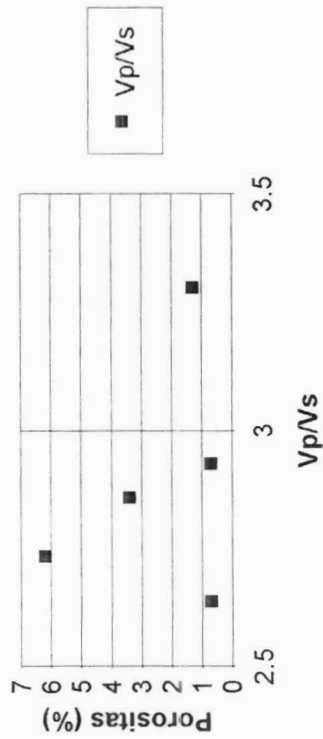
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Batu Gamping



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Batu Gamping

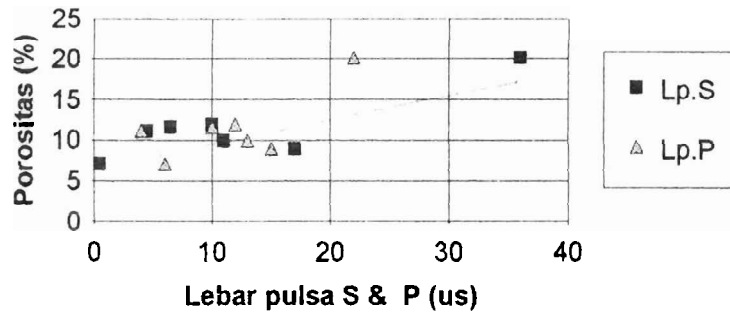


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Batu Gamping

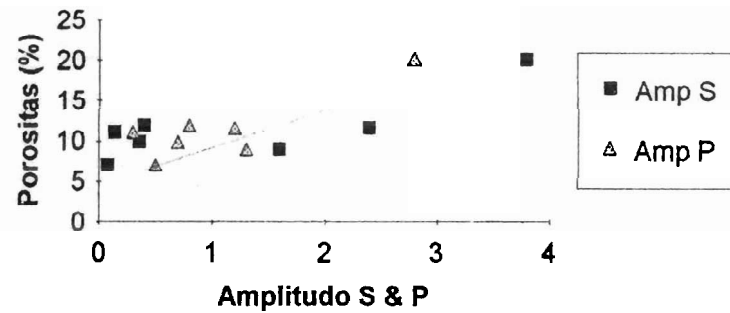


Batu Pasir														
poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs	
7.1	0.5	6	0.08	0.5	0.04	3	43.3	27.6	0.2727	0.4279	3.667033	2.336995	1.569124	
11.6	6.5	10	2.4	1.2	15.6	12	82	7.8	0.1354	0.2937	7.385524	3.404835	2.169129	
11.9	10	12	0.4	0.8	4	9.6	77.5	35	0.1442	0.3193	6.934813	3.131851	2.214286	
20.1	36	22	3.8	2.8	136.8	61.6	136	68.5	0.0732	0.1453	13.6612	6.882312	1.984973	
11.1	4.5	4	0.14	0.3		1.2	53.5	23.4	0.2257	0.516	4.43066	1.937984	2.286221	
9.9	11	13	0.36	0.7	3.96	9.1	68.6	30	0.1767	0.4042	5.65931	2.474023	2.287493	
9	17	15	1.6	1.3	27.2	19.5	67	29.4	0.1763	0.4041	5.67215	2.474635	2.292116	

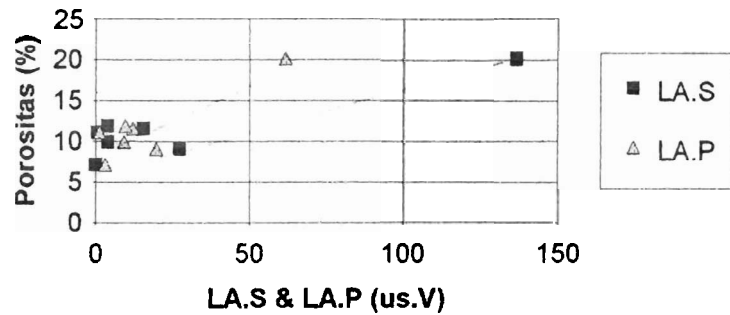
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Batu Pasir



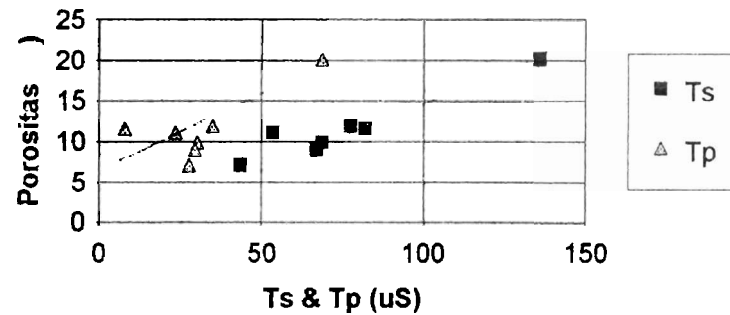
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Batu Pasir



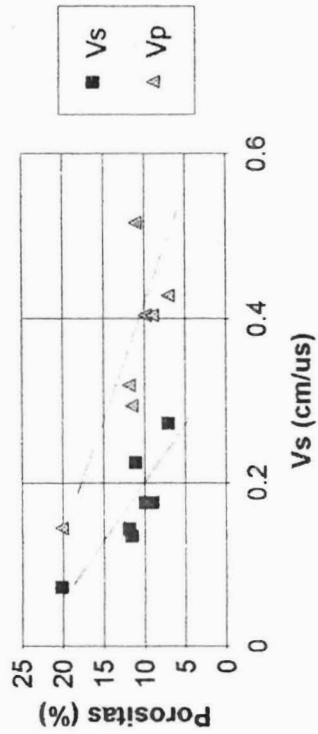
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Batu Pasir



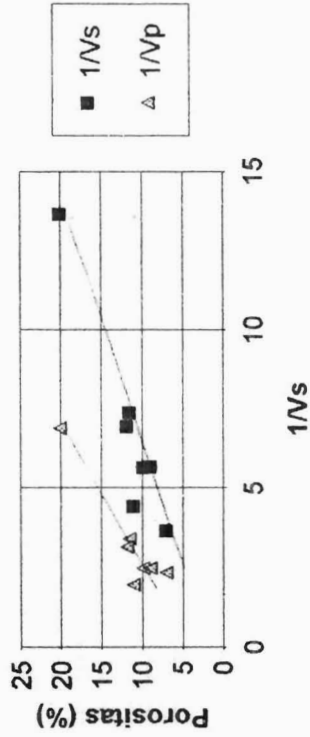
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Batu Pasir



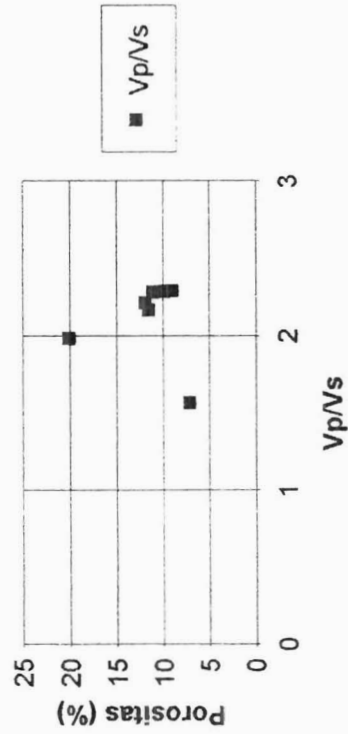
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Batu Pasir



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Batu Pasir

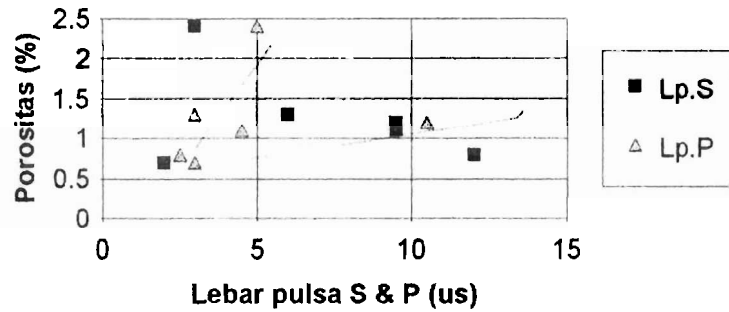


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Batu Pasir

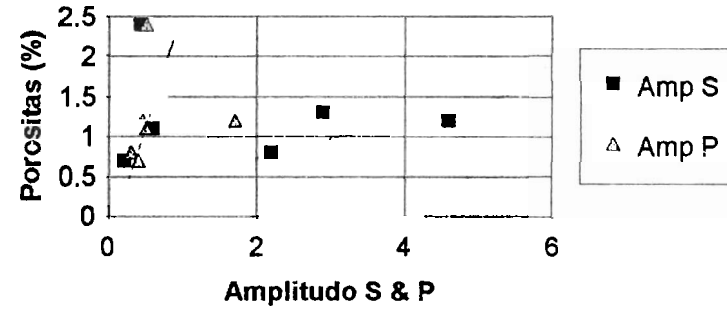


Batu Beku	poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
	0.8	12	2.5	2.2	0.3	26.4	0.75	44.3	16.8	0.2474	0.6524	4.042037	1.532802	2.637025
	1.2	9.5	10.5	4.6	1.7	43.7	17.85	48	14.8	0.2063	0.6689	4.84731	1.494992	3.242365
	1.3	6	3	2.89	0.4	17.34	1.2	37	14.8	0.3261	0.8152	3.066544	1.226693	2.499847
	1.1	9.5	4.5	0.6	0.5	5.7	2.25	60.5	17	0.2004	0.7132	4.99002	1.402131	3.558882
	0.7	2	3	0.22	0.4	0.44	1.2	40	19.5	0.312	0.64	3.205128	1.5625	2.051282
	2.4	3	5	0.43	0.5	1.29	2.5	56.5	20.5	0.2173	0.599	4.601933	1.669449	2.756558

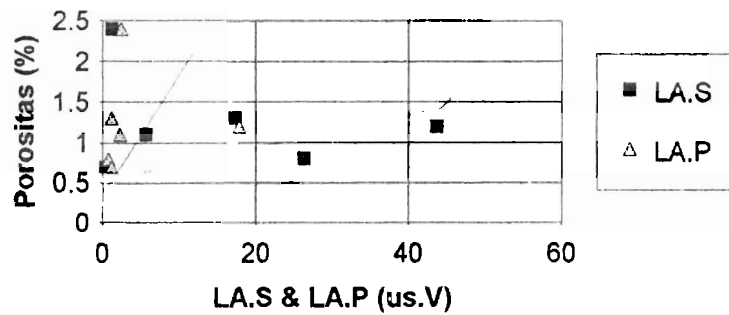
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Batu Beku



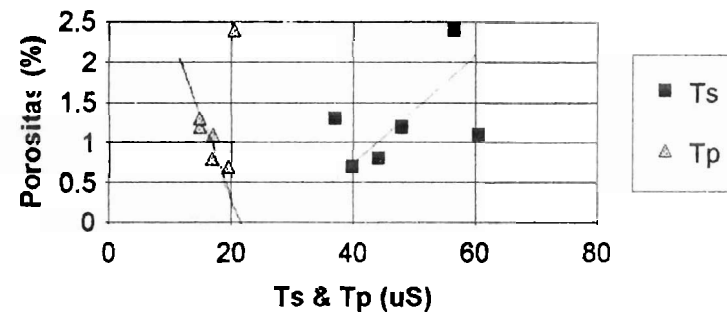
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Batu Beku



Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Batu Beku



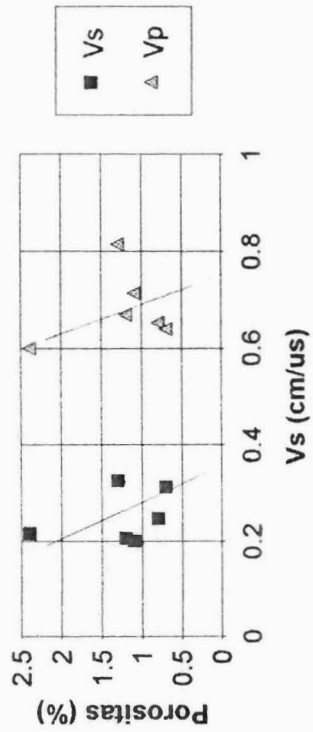
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Batu Beku



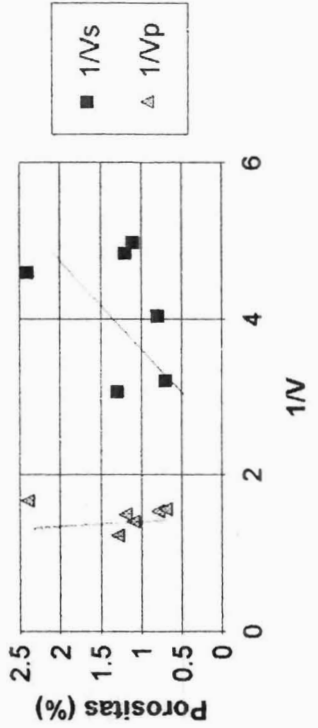
48

MILK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

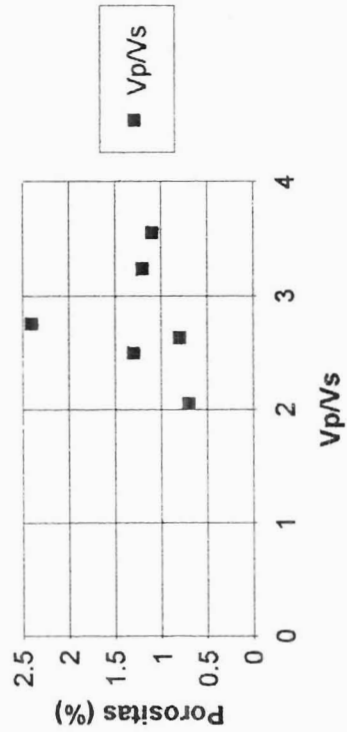
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Batu Beku



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Batu Beku

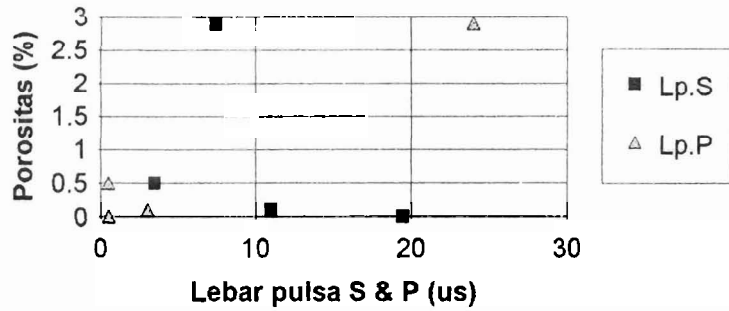


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Batu Beku

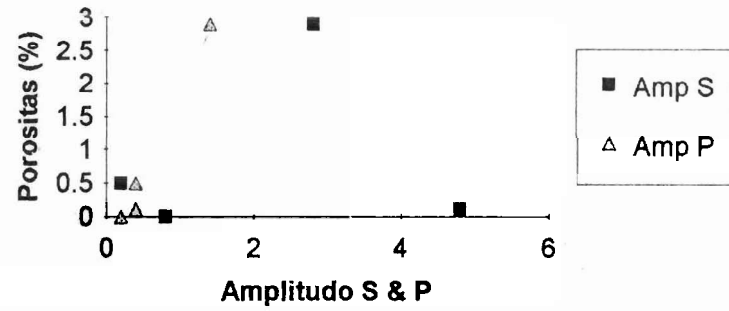


Logam	poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
	0	19.5	0.5	0.8	0.2	15.6	0.1	57.8	6.8	0.1332	1.1324	7.507508	0.88308	8.501502
	0.1	11	3	4.8	0.4	52.8	1.2	40.2	10.5	0.1915	0.7333	5.221932	1.363698	3.829243
	2.9	7.5	24	2.8	1.4	21	33.6	40.5	32.5	0.1901	0.2369	5.260389	4.22119	1.246186
	0.5	3.5	0.5	0.2	0.4	0.7	0.2	29	5.5	0.262	1.3909	3.816794	0.718959	5.308779

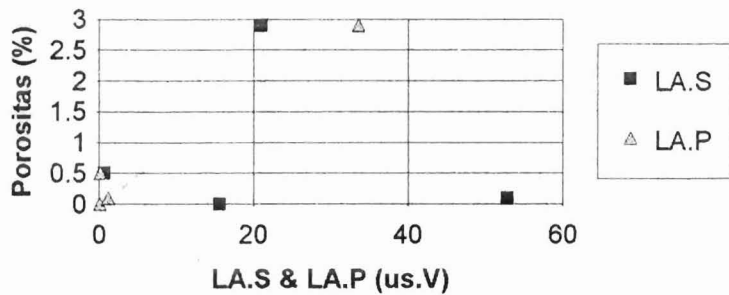
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Logam



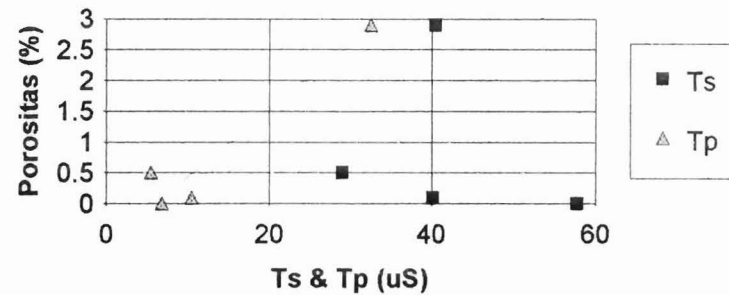
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Logam



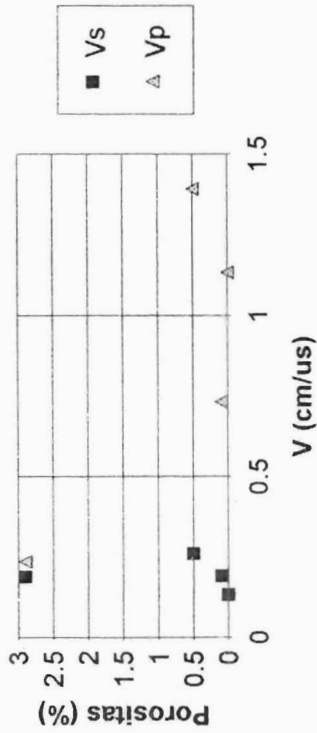
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Logam



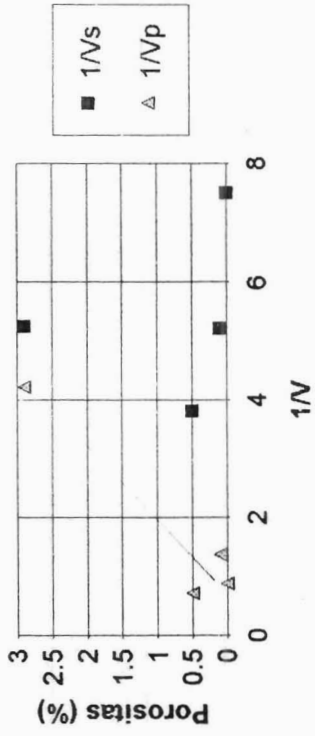
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Logam



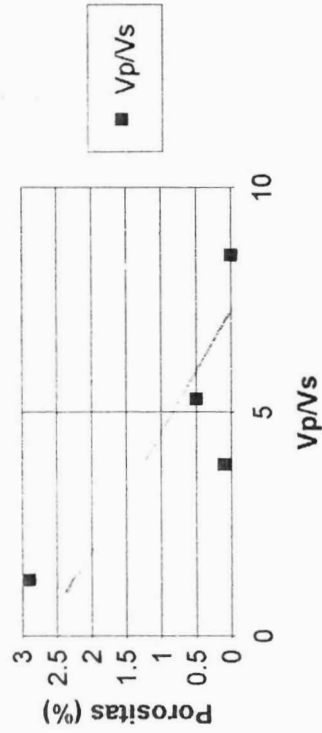
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Logam



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Logam

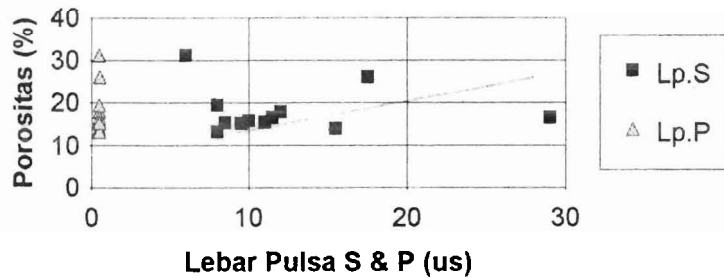


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Logam

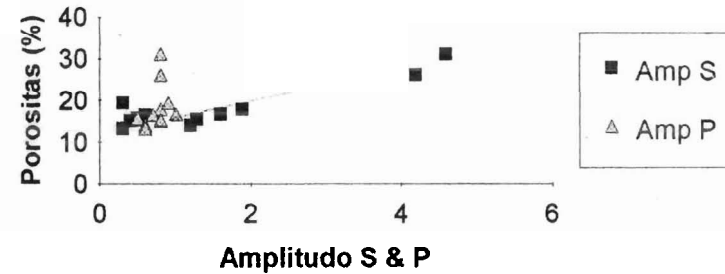


Campuran Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]							DATA5.XLS						
poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
26.2	17.5	0.4904	4.2	0.8	73.5	0.39232	86.5	43.3	0.1372	0.274	7.28863	3.649635	1.997085
31.2	6	0.4839	4.6	0.8	27.6	0.38712	63.8	48	0.1764	0.2345	5.668934	4.264392	1.329365
17.9	12	0.4879	1.88	0.8	22.56	0.39032	76.5	34.3	0.1536	0.3426	6.510417	2.918856	2.230469
15.1	9.5	0.4854	0.4	0.8	3.8	0.38832	69.7	32.9	0.1683	0.3565	5.941771	2.805049	2.118241
15.5	11	0.4857	1.28	0.5	14.08	0.24285	67.5	29	0.1669	0.3884	5.991612	2.574665	2.327142
15.7	10	0.4864	0.5	0.5	5	0.2432	70.9	31.6	0.1626	0.3649	6.150062	2.740477	2.244157
14	15.5	0.4839	1.2	0.6	18.6	0.29034	66.5	28.5	0.1766	0.4121	5.662514	2.426595	2.333522
19.4	8	0.488	0.3	0.9	2.4	0.4392	76.7	33	0.1533	0.3564	6.523157	2.805836	2.324853
16.6	29	0.4844	1.6	1	46.4	0.4844	67.6	35	0.1737	0.3356	5.757052	2.979738	1.932067
16.5	11.5	0.4883	0.6	0.7	6.9	0.34181	74.5	29.5	0.1515	0.3825	6.60066	2.614379	2.524752
13.2	8	0.485	0.3	0.6	2.4	0.291	69	24.4	0.1707	0.4828	5.858231	2.071251	2.828354
15.3	8.5	0.4849	0.5	0.8	4.25	0.38792	67	23.5	0.1711	0.4879	5.844535	2.0496	2.851549

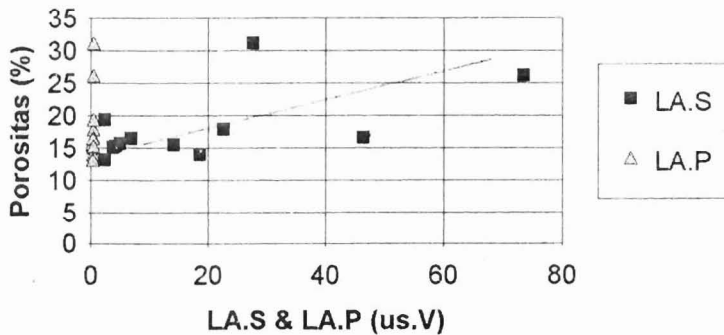
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Campuran Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



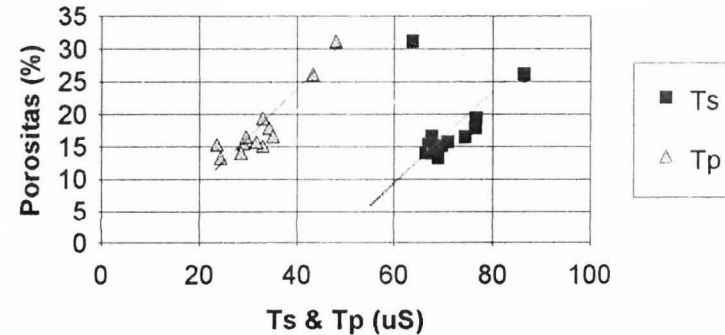
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Campuran Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



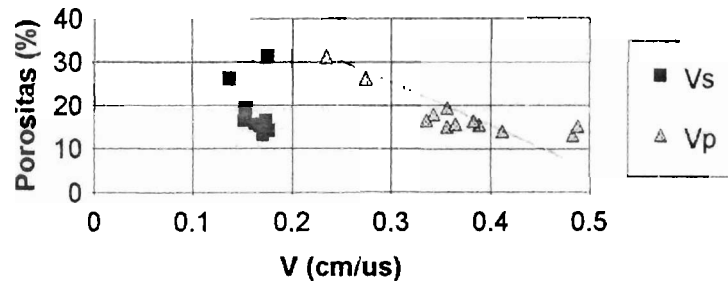
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



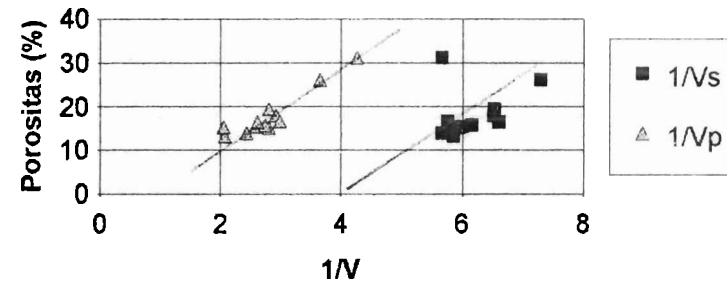
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



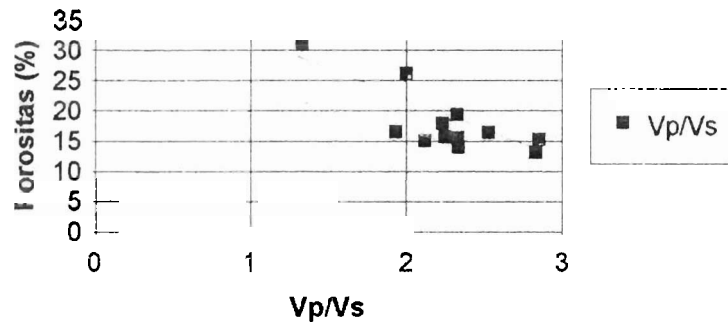
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



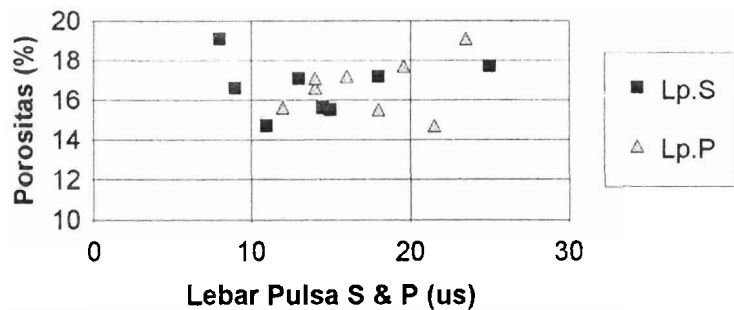
Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



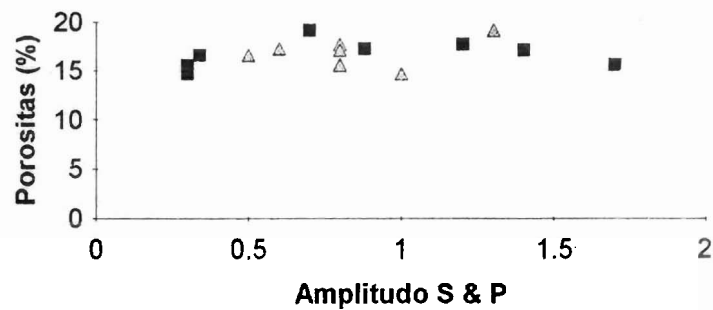
Campuran Semen, Pasir, Split [1:2:3]

poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
17.2	18	16	0.88	0.6	15.84	9.6	66.1	29	0.1758	0.4007	5.688282	2.495633	2.279295
16.6	9	14	0.34	0.5	3.06	7	68.8	33.5	0.1669	0.3428	5.991612	2.917153	2.053925
15.6	14.5	12	1.7	0.8	24.65	9.6	66.3	30	0.1752	0.3872	5.707763	2.582645	2.210046
15.5	15	18	0.3	0.8	4.5	14.4	58.5	25.9	0.1991	0.4498	5.022602	2.22321	2.259166
17.7	25	19.55	1.2	0.8	30	15.64	72.2	37	0.1575	0.3073	6.349206	3.254149	1.951111
19.1	8	23.5	0.7	1.3	5.6	30.55	87.7	35.4	0.1314	0.3256	7.61035	3.071253	2.47793
17.1	13	14	1.4	0.8	18.2	11.2	72	30	0.1563	0.375	6.397953	2.666667	2.399232
14.7	11	21.5	0.3	1	3.3	21.5	77	33	0.1636	0.3817	6.112469	2.619859	2.33313

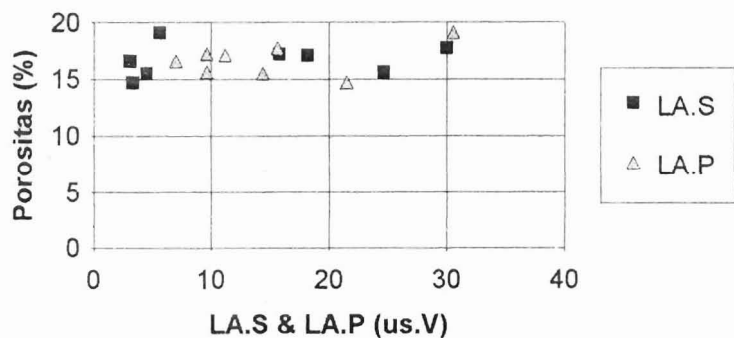
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Campuran Semen, Pasir, Split[1:2:3]



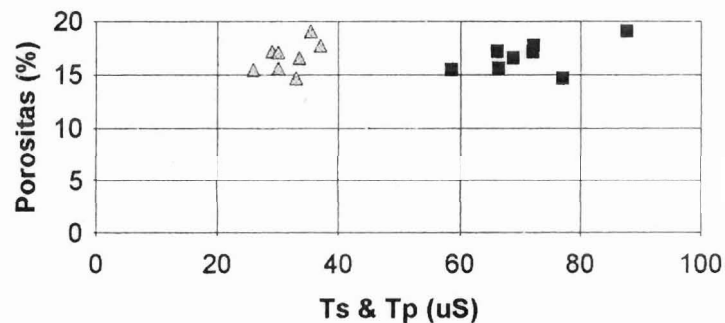
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Campuran Semen, Pasir, Split [1:2:3]



Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Semen, Pasir, Split [1:2:3]

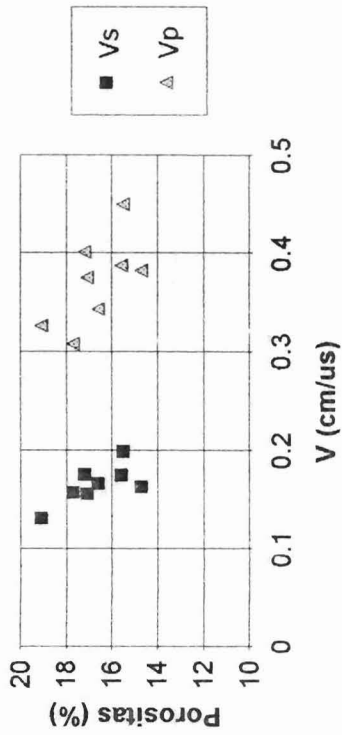


Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]

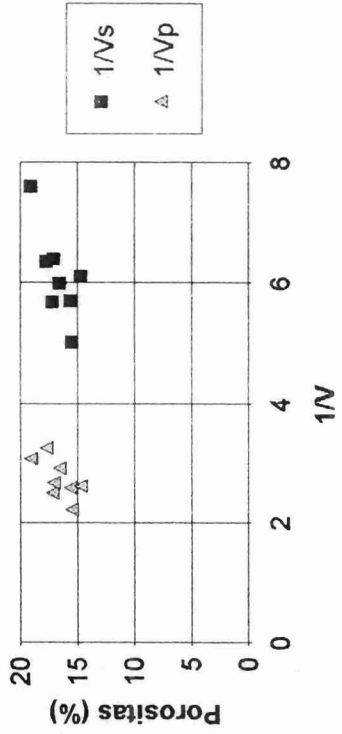


MILIK UPT PERPUSTAKAAN IKIP PADANG

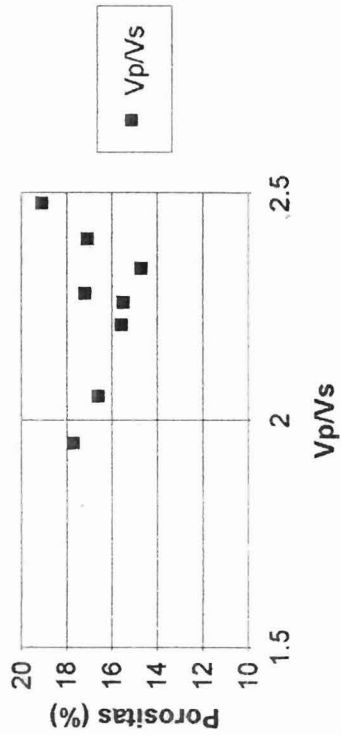
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Semen, Pasir, Split [1:2:3]



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Semen, Pasir, Split [1:2:3]

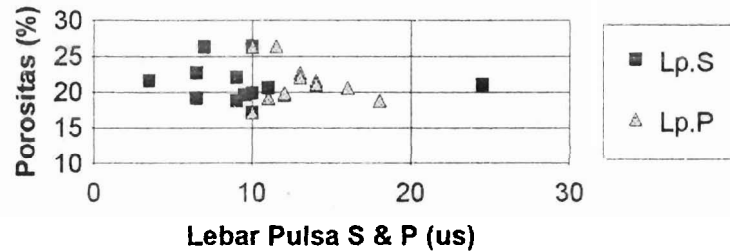


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Semen, Pasir, Split [1:2:3]

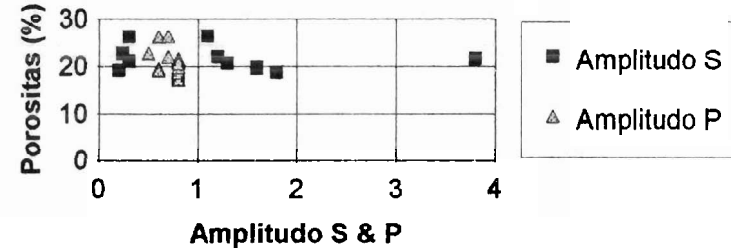


Campuran Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]													
poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
26.3	7	10	0.3	0.6	2.1	6	68.5	32.5	0.2363	0.3485	4.231909	2.86944	1.47482
26.4	10	11.5	1.1	0.7	11	8.05	70	33.2	0.183	0.3557	5.464481	2.811358	1.943716
21.6	3.5	14	3.8	0.8	13.3	11.2	52.4	33.2	0.1906	0.3729	5.24659	2.681684	1.956453
22.7	6.5	13	0.24	0.5	1.56	6.5	63.1	30	0.1826	0.3848	5.476451	2.598753	2.107338
17.2	10	10	0.8	0.8	8	8	61.7	27.3	0.1713	0.4308	5.837712	2.321263	2.514888
19.6	9.5	12	1.6	0.6	15.2	7.2	63.2	27	0.1832	0.4274	5.458515	2.339729	2.332969
18.8	9	18	1.8	0.8	16.2	14.4	67.2	26.1	0.1705	0.441	5.865103	2.267574	2.58651
19.2	6.5	11	0.2	0.6	1.3	6.6	63.5	25	0.1511	0.4654	6.618134	2.148689	3.080079
19.9	10	12	1.6	0.8	16	9.6	69.5	26.7	0.175	0.4438	5.714286	2.253267	2.536
22.1	9	13	1.2	0.7	10.8	9.1	76.5	26.2	0.1675	0.4412	5.970149	2.266546	2.63403
21.1	24.5	14	0.3	0.8	7.35	11.2	65.5	26.2	0.1707	0.4374	5.858231	2.286237	2.56239
20.6	11	16	1.3	0.8	14.3	12.8	71.5	24.7	0.1711	0.4848	5.844535	2.062706	2.833431

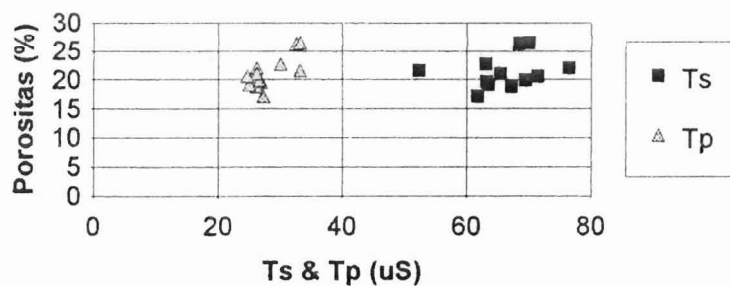
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Campuran Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]



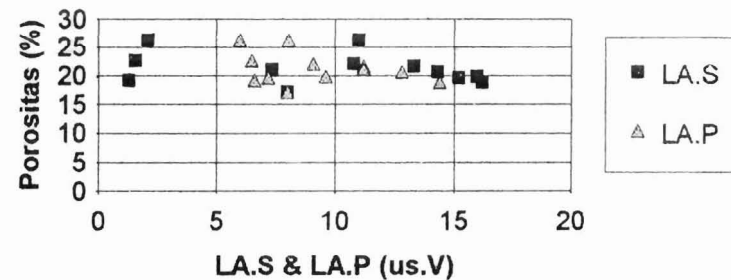
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Campuran Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]



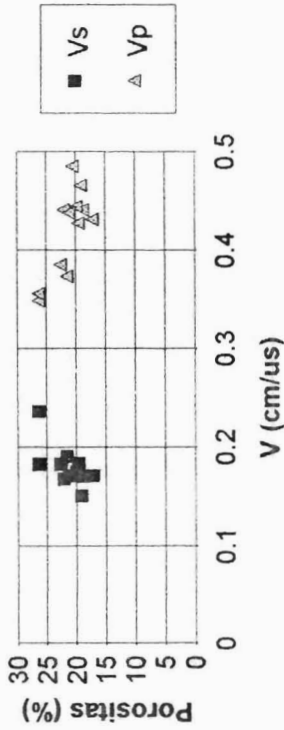
Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]



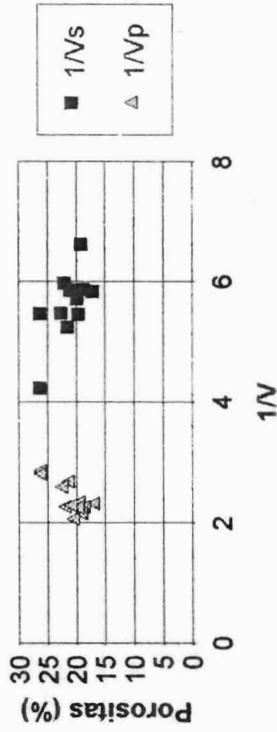
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]



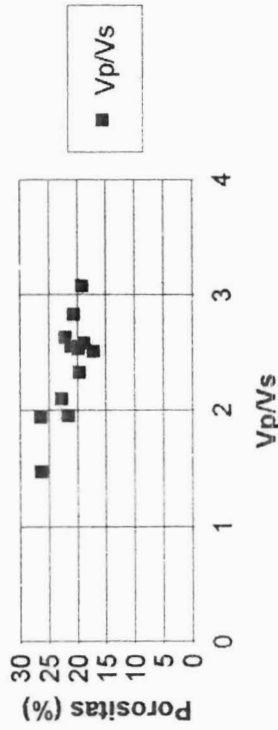
Grafik Porositas terhadap kecepatan Vs & Vp untuk Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]



Grafik Porositas terhadap 1/Vs dan 1/Vp untuk Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]

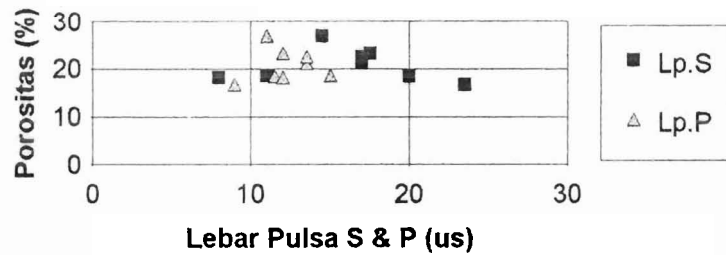


Grafik Porositas thd Vp/Vs untuk Semen, Pasir, Kerikil [3:1:1]

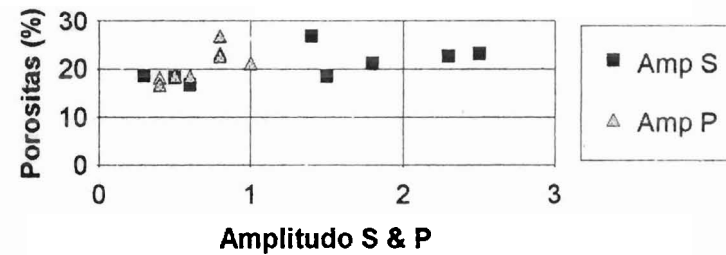


Campuran Semen, Pasir, Split [3:1:1]													
poros (%)	Lp.S	Lp.P	Ap.S	Ap.P	LA.S	LA.P	Ts	Tp	Vs	Vp	1/Vs	1/Vp	Vp/Vs
23.2	17.5	12	2.5	0.8	43.75	9.6	64.7	28.2	0.1832	0.4202	5.458515	2.379819	2.293668
26.9	14.5	11	1.4	0.8	20.3	8.8	66.8	30.2	0.1712	0.3786	5.841121	2.64131	2.211449
21.2	17	13.5	1.8	1	30.6	13.5	69.5	29.2	0.1753	0.4171	5.704507	2.397507	2.37935
22.6	17	13.5	2.3	0.8	39.1	10.8	68.2	27.9	0.1717	0.4197	5.824112	2.382654	2.44438
18.5	20	11.5	1.5	0.6	30	6.9	56	27	0.2087	0.4328	4.791567	2.310536	2.07379
18.6	11	15	0.3	0.5	3.3	7.5	69.5	26	0.1715	0.4585	5.830904	2.181025	2.673469
18.3	8	12	0.5	0.4	4	4.8	62.7	26.7	0.1828	0.4292	5.47046	2.329916	2.347921
16.8	23.5	9	0.6	0.4	14.1	3.6	63.1	26	0.1883	0.4569	5.310674	2.188663	2.426447

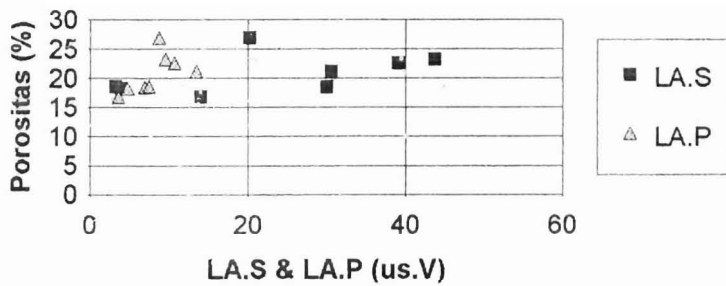
Grafik Porositas terhadap lebar pulsa S & lebar pulsa P untuk Campuran Semen, Pasir, Split [3:1:1]



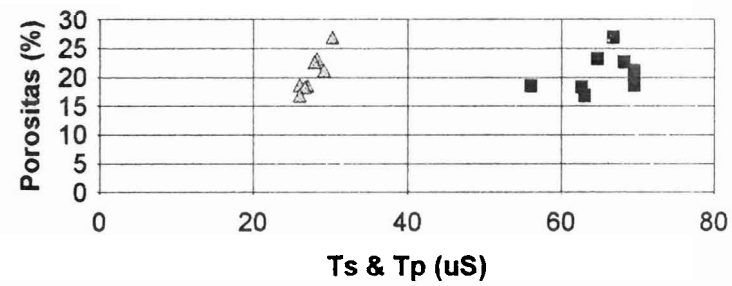
Grafik porositas terhadap amplitudo S dan amplitudo P untuk Campuran Semen, Pasir, Split [3:1:1]



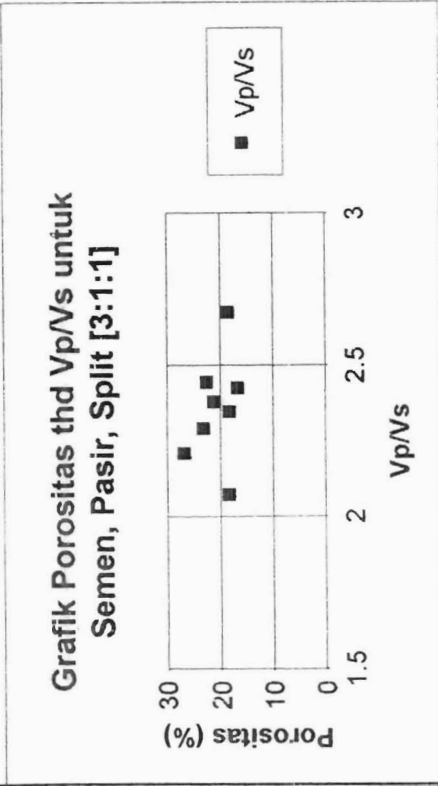
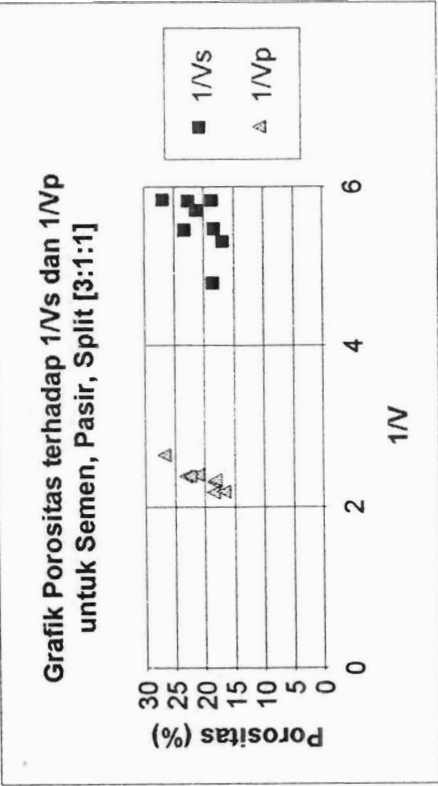
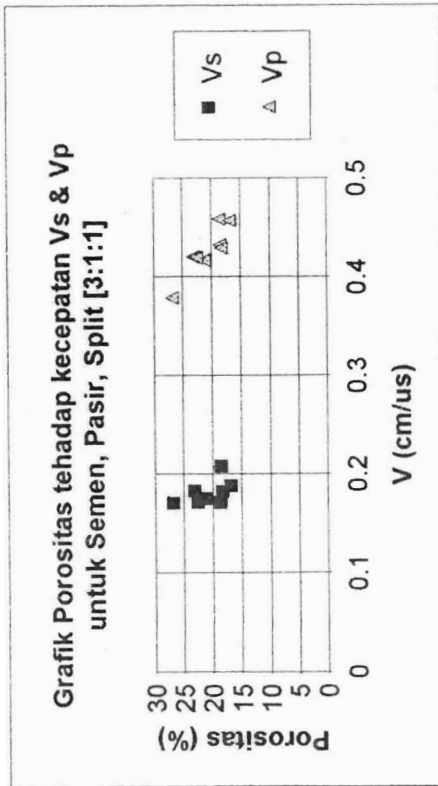
Grafik Porositas thd lebar pulsa x amplitudo S & P untuk Semen, Pasir, Split [3:1:1]



Grafik Porositas thd Ts dan Tp untuk Semen, Pasir, Split [3:1:1]

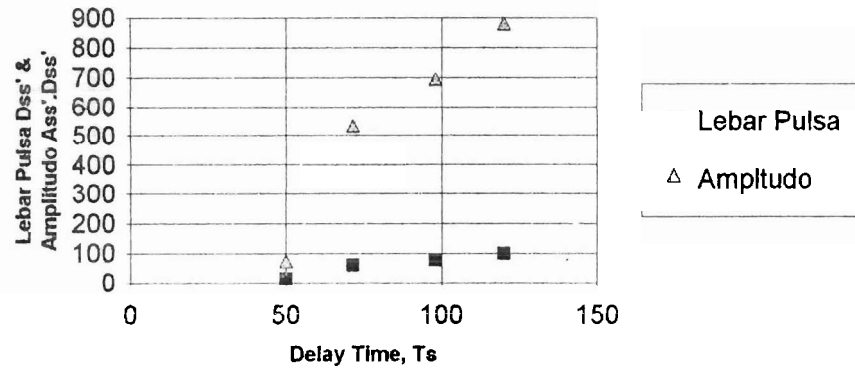


69

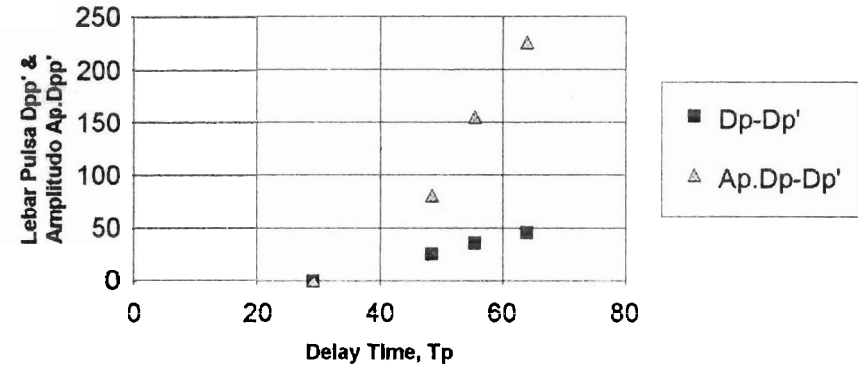


Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
7.1	50	29.1	5	0.1	1.2	0.02	24	39	19	19.5	4.9	1.1	15
	71.5	48.5	9	0.1	3.2	0.1	24	84	28	54	8.9	3.1	60
	98	55.5	9	0.1	4.4	0.1	26	104	28	64	8.9	4.3	78
	120	64	9	0.1	5	0.1	26	125	18	64	8.9	4.9	99
	Dp-Dp'	Ass' .Dss'	App' .Dpp'										
	0.5	73.5	0.55										
	26	534	80.6										
	36	694.2	154.8										
	46	881.1	225.4										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 7.1 %



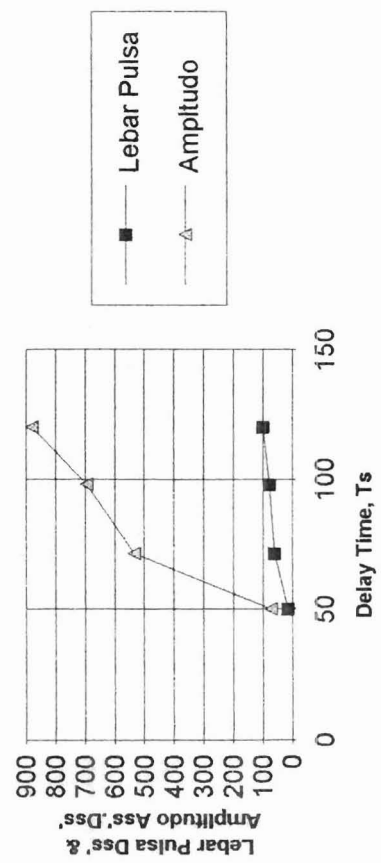
Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 7.1 %



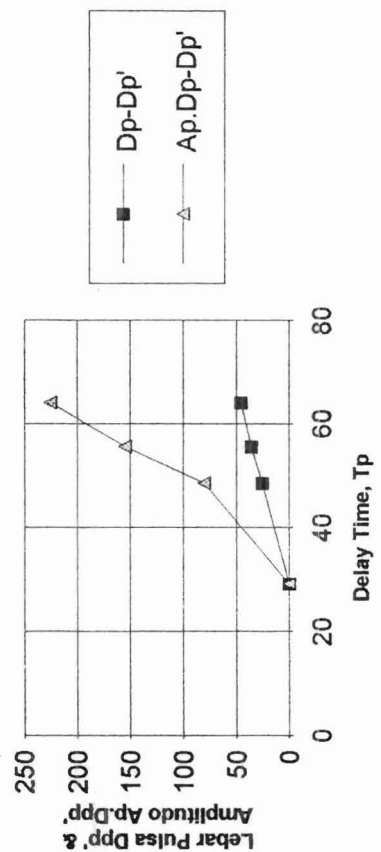
61

Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
7.1	50	29.1	5	0.1	1.2	0.02	24	39	19	19.5	4.9	1.1	15
	71.5	48.5	9	0.1	3.2	0.1	24	84	28	54	8.9	3.1	60
	98	55.5	9	0.1	4.4	0.1	26	104	28	64	8.9	4.3	78
	120	64	9	0.1	5	0.1	26	125	18	64	8.9	4.9	99

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 7.1 %

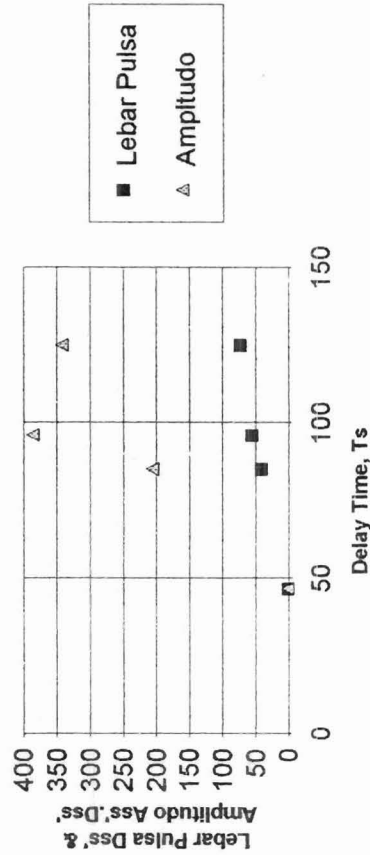


Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 7.1 %

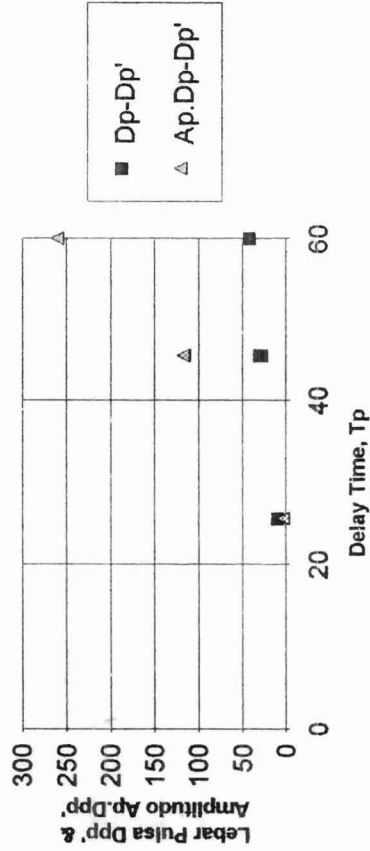


Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
11.1	46.6	25.6	3	0.1	0.4	0.2	26.5	27	18	28	2.9	0.3	0.5
	85	45.6	5	0.04	4.2	0.3	22.5	64	28	56	4.96	4.16	41.5
	96	45.6	7	0.1	4	0.1	26	82	30	60	6.9	3.9	56
	125	60	5	0.3	6.5	0.03	27	100	28	70	4.7	6.2	73
	Dp-Dp'	Ass' .Dss' / App' . Dpp'											
	10	1.45	3										
	28	205.84	116.48										
	30	386.4	17										
	42	343.1	260.4										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 11.1 %

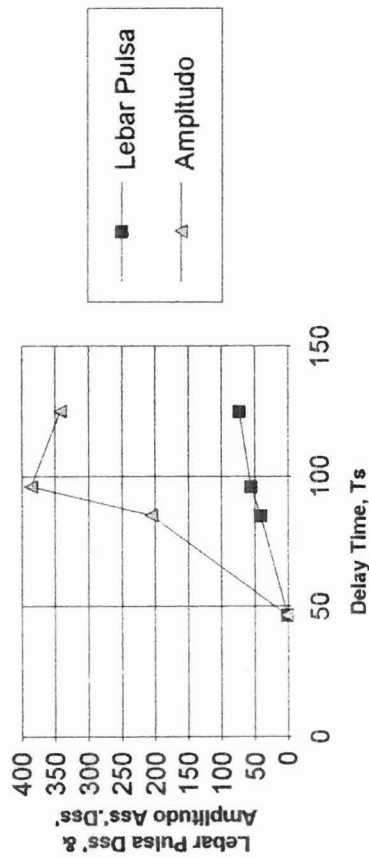


Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 11.1 %

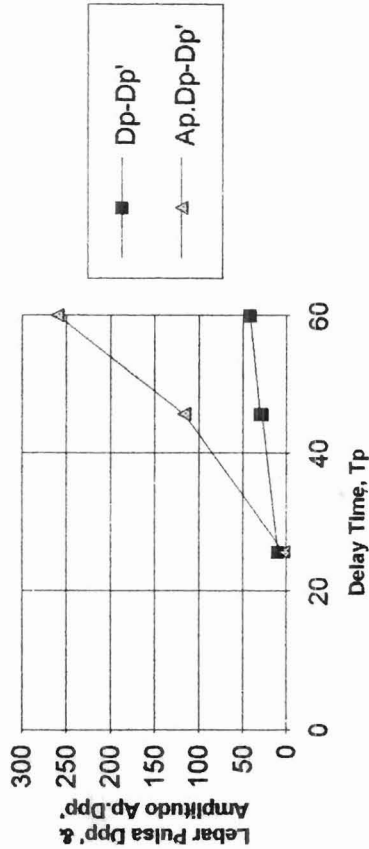


Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
11.1	46.6	25.6	3	0.1	0.4	0.2	26.5	27	18	28	2.9	0.3	0.5
	85	45.6	5	0.04	4.2	0.3	22.5	64	28	56	4.96	4.16	41.5
	96	45.6	7	0.1	4	0.1	26	82	30	60	6.9	3.9	56
	125	60	5	0.3	6.5	0.03	27	100	28	70	4.7	6.2	73
	Dp-Dp'	Ass' .Dss'	App' . Dpp'										
	10	1.45	3										
	28	205.84	116.48										
	30	386.4	17										
	42	343.1	260.4										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 11.1 %

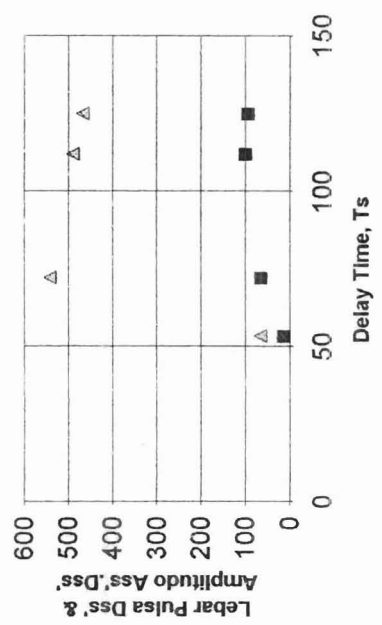


Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 11.1 %

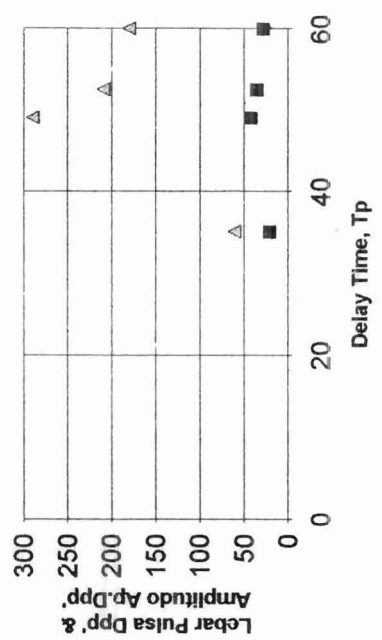


Poros (%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
9	53.3	35.1	5	0.1	3	0.2	23.5	37	20	41	4.9	2.9	13.5
	72	52.5	8.5	0.1	6	0.2	23.5	88	27	62.5	8.4	5.9	64.5
	112	49.1	5	0.1	7	0.1	25	125	26	68	4.9	6.9	100
	125	60	5	0.06	6.5	0.1	25.5	120	30	58	4.94	6.44	94.5
	Dp-Dp'	Ass'. Dss'	App' . Dpp'										
	21	66.15	60.9										
	35.5	541.8	209.45										
	42	490	289.8										
	28	466.83	180.32										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 7.1 %

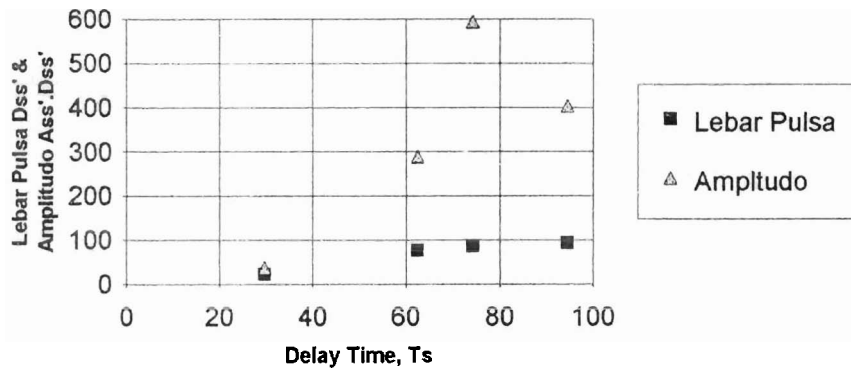


Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 7.1 %

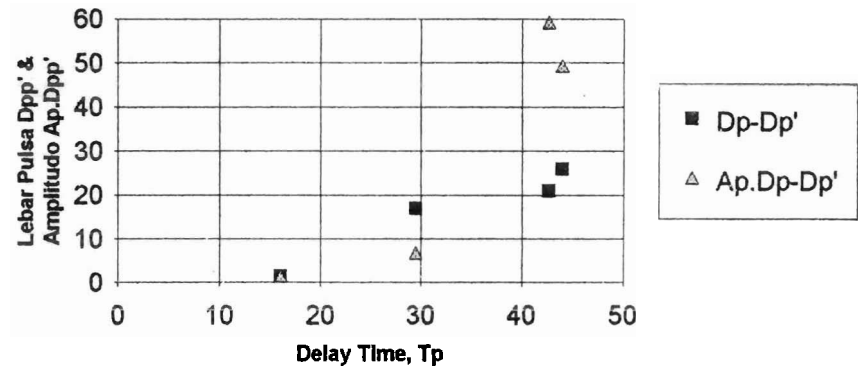


Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
1.3	29.7	16	1.8	0.2	1.2	0.2	24.5	47.5	18	19.5	1.6	1	23
	62.5	29.5	4	0.2	0.6	0.1	24	100	28	45	3.8	0.4	76
	74.3	42.7	7	0.18	3	0.2	25	112	29	50	6.82	2.82	87
	94.5	44	4.4	0.1	2	0.1	26	120	30	56	4.3	1.9	94
	Dp-Dp'	Ass' .Dss'	App' . Dpp'										
	1.5	36.8	1.5										
	17	288.8	6.8										
	21	593.34	59.22										
	26	404.2	49.4										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 7.1 %



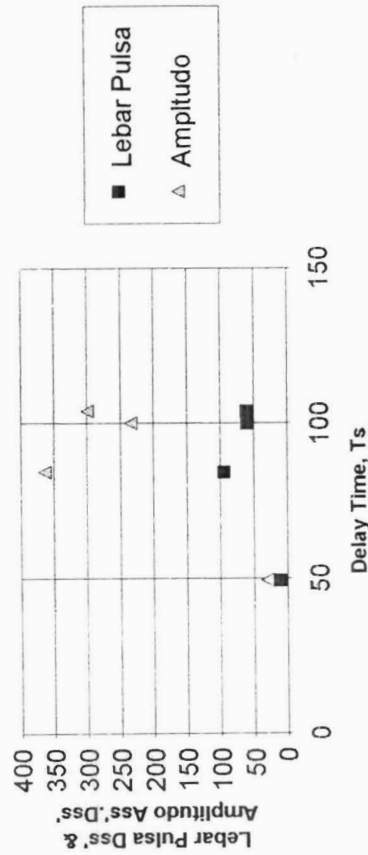
Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 7.1 %



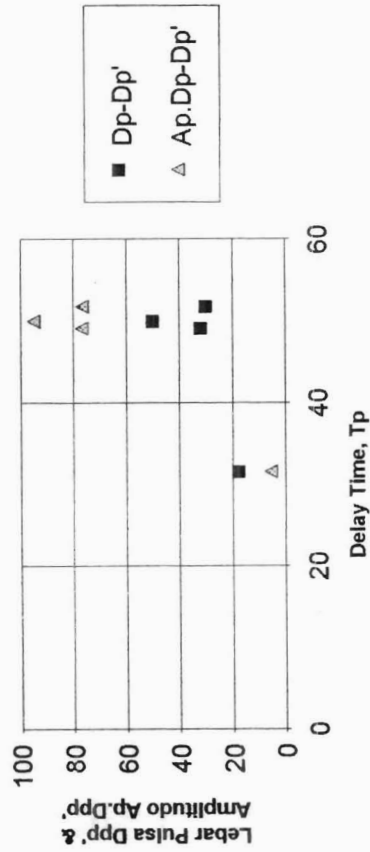
99

Poros(%)	Ts	Tp	A.s	A.s'	A.p	A.p'	D.s	D.s'	D.p	D.p'	As-As'	Ap-Ap'	Ds-Ds'
19.2	49.5	31.6	3	0.1	0.42	0.2	29.5	40	20	38	2.9	0.32	10.5
	84.5	51.8	4	0.15	2.7	0.1	25.5	120	28	58	3.85	2.55	94.5
	100	49.2	4	0.1	2.5	0.1	24	84	28	60	3.9	2.4	60
	104	50	5	0.1	2	0.1	24	85	26	76	4.9	1.9	61
	Dp-Dp'		Ass' .Dss'	App' . Dpp'									
	18	30.45	5.76										
	30	363.825	76.5										
	32	234	76.8										
	50	298.9	95										

Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk porositas 19.2 %



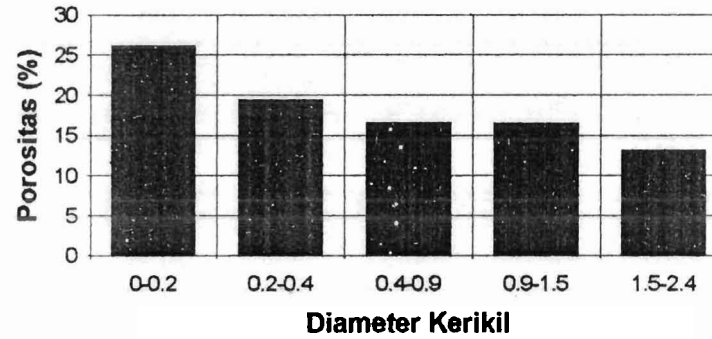
Grafik Delay Time terhadap Lebar Pulsa & Amplitudo untuk Porositas 19.2 %



Campuran Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]

Porositas	Diameter
26.2	0-0.2
19.4	0.2-0.4
16.6	0.4-0.9
16.5	0.9-1.5
13.2	1.5-2.4

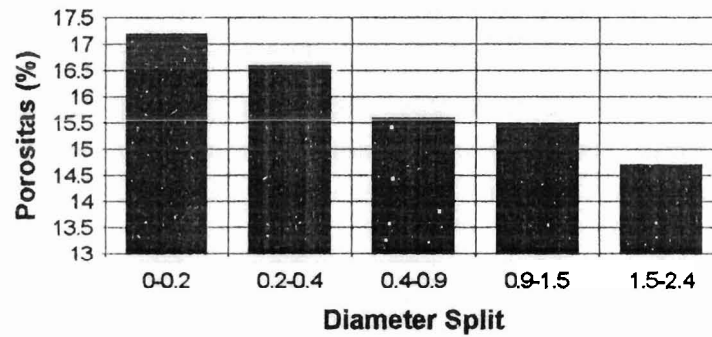
Grafik Porositas thd Diameter Kerikil untuk campuran Semen, Pasir, Kerikil [1:2:3]



Campuran Semen, Pasir, Split [1:2:3]

Porositas	Diameter
17.2	0-0.2
16.6	0.2-0.4
15.6	0.4-0.9
15.5	0.9-1.5
14.7	1.5-2.4

Grafik Porositas thd Diameter Split untuk campuran Semen, Pasir, Split [1:2:3]



BB

BAB V
PENUTUP

1. Kesimpulan

Terdapat hubungan yang linier antara lebar pulsa, delay time dan amplitudo dengan porositas.

2. Penerapan

- a. Mendapatkan pendekatan secara grafik untuk batuan sehingga memudahkan menentukan sifat-sifat batuan.
- b. Dapat menentukan kualitas dari bahan-bahan bangunan.
- c. Mengetahui sejauhmana kerusakan (retakan) yang terjadi pada bangunan.
- d. Perlunya pengembangan studi ini seperti:
setiap potongan diisi dengan bahan-bahan lainnya

DAFTAR PUSTAKA

- Klimentos, T and McCann, C., 1990, Relationship Among Compressional Wave Attenuation, Porosity, Clay Content, and Permeability in Sandstone, Geophysics, 998-1014
- Lefeuvre, Frederic. Nicoletis, Laurence. Ansel, Valerie and Cllet, Christian., 1992, Detection and measure of the shear-wave birefringence from vertical seismic data: Theory and applications, 1463-1481
- Ohkubo, T. and Terasaki, A., 1977, Physical Property and Seismic Wave Velocity of Rock, Oyo Technical Note, Japan, 1-12
- Sutarno, D. and Hendrajaya, L. and Wachid, S., 1983, Sifat-sifat Elastik Campuran Bahan Padat Berdasarkan Kecepatan Gelombang Soniknya, ITB, 9-40
- Miwaldi., 1993, Studi Atenuasi Gelombang Model Q-tetap untuk Pengembangan cara pengukuran Q pada Seismik Bias Dangkal, Fisika, ITB, 9-40
- Winkler, K.H. and Nur, A., 1982, Seismic Attenuation: Effects of pore Fluids and Frictional Sliding, Geophysics, 1-15.