

Pengaruh Jenis Material Terhadap Cepat Rambat Ultrasonik di Dalam Material Menggunakan Ultrasonik Flaw Detector

Wahyu Nur Hidayat

Pendidikan MIPA, Fakultas Pascasarjana,
Universitas Indraprasta PGRI
Jl. Nangka No.58c Tanjung Barat Jagakarsa Jakarta Selatan
wahyu.unindras2@gmail.com

***Abstract.** Non Destructive Testing is one of the wide group of analysis technique which is used in the industrial, sciences and technology to evaluate the properties of materials, components, or systems without causing damage. Evaluation is produced thru an interpretation, based on the standard formulas of physics and mathematics as a tool, such as the formula for mechanical wave propagation speed, wavelength, attenuation and gain level. Ultrasonic in the Non-Destructive Testing is the use of ultrasonic to test materials without damaging the material, so that the thickness of the material, the type of material, and also the internal structure of the material can be known. This test is to determine the effect of the type of material with several transducer frequencies on the ultrasonic propagation in the material and in this test, 5 types of materials are used, namely: carbon steel, stainless steel, titanium, iron and aluminum, while the frequency of the transducer used are 2.5 MHz, 4 MHz, and 10 MHz. As the calibration of the equipment for the test used VI calibration block, carbon steel material. From the test results it was found that the ultrasonic propagation speed in the material is influenced by the type of material and the difference in the frequency given affects the penetration power, with the smaller the frequency with the same transducer crystal size, giving a large penetration power, as seen from the intensity which has the symbol decibel/ dB. Ultrasonic testing is widely used in the oil and gas industry, refinery, power generation, construction and research as feasibility test requirements, quality control/quality assurance of the new product, risk based inspection, damage analysis and material analysis. The demand for experts to operate and interpret test results is great from a wide variety of existing business owners. Discussions and scientific forums online or offline are mostly conducted between academics and experts in the field of the nondestructive testing. Therefore, it is necessary to make a breakthrough by including non-destructive test studies as a study of supporting subjects. Lectures on non-destructive testing must also be complemented by practicum and international standard licensing exams. In the era of global competition, please do not let our students after graduating later become spectators for foreign workers who work in the field of nondestructive testing in Indonesia.*

***Keywords:** Non Destructive Testing, Ultrasonic Flaw Detector, Ultrasonic Propagation Speed, Global competition*

PENDAHULUAN

Uji Tak Rusak merupakan salah satu dari kelompok luas teknik analisis yang digunakan dalam industri sains dan teknologi untuk mengevaluasi sifat-sifat material, komponen, atau sistem tanpa menyebabkan kerusakan. Upaya pertama untuk menggunakan pengujian ultrasonik untuk mendeteksi cacat pada bahan padat terjadi pada tahun 1930-an. Peneliti Amerika, Dr. Floyd Firestone dari Universitas Michigan memiliki paten penemuan untuk metode pengujian ultrasonik praktis pertama. Paten tersebut diberikan pada tanggal 21 April 1942 sebagai US Patent No. 2.280.226, berjudul "*Flaw Detecting Device and Measuring Instrument*". Sertifikasi personal penting bahwa operator dan supervisor memenuhi syarat dalam menggunakan metode ultrasonik sebelum teknik ini digunakan dan hasil pengujian

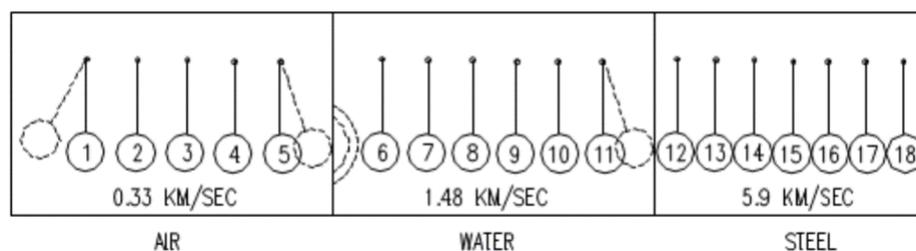
dievaluasi. Indonesia merujuk pada dokumen dari ASNT (Asosiasi Society for Non destructive Testing) Amerika sebagai acuan dalam sertifikasi personal pemeriksaan ultrasonik. ASNT merekomendasikan penggunaan dokumen mereka, yaitu Recommended Practice no. SNT.TC.1A. Sertifikasi personal terdapat tiga tingkatan:

1. Level I: Melakukan kalibrasi khusus, tes spesifik, dan evaluasi khusus sesuai instruksi tertulis.
2. Level II: Mengatur dan mengkalibrasi peralatan dan menafsirkan dan mengevaluasi hasil berkenaan dengan kode standar dan spesifikasi. Harus bisa menyiapkan instruksi tertulis dan melaporkan hasil pengujian.
3. Level III: Bertanggung jawab untuk membangun teknik, menafsirkan kode, dan menunjuk metode dan teknik pengujian yang akan digunakan. Harus memiliki latar belakang praktis dalam teknologi dan terbiasa dengan metode NDT lainnya yang umum digunakan.

Evaluasi dalam pengujian ultrasonik dihasilkan melalui suatu interpretasi, berdasarkan rumusan-rumusan baku fisika dan matematika sebagai alat bantu. Ultrasonik dalam Uji Tak Rusak adalah penggunaan getaran ultrasonik yang memiliki frekuensi 0,5 – 25 MHz untuk menguji material tanpa merusak material tersebut, sehingga dapat diketahui ketebalan material, jenis material, dan juga struktur internal material untuk mengetahui kemungkinan adanya cacat material, seperti : keretakan, udara yang terperangkap, korosi internal dan lain-lain.

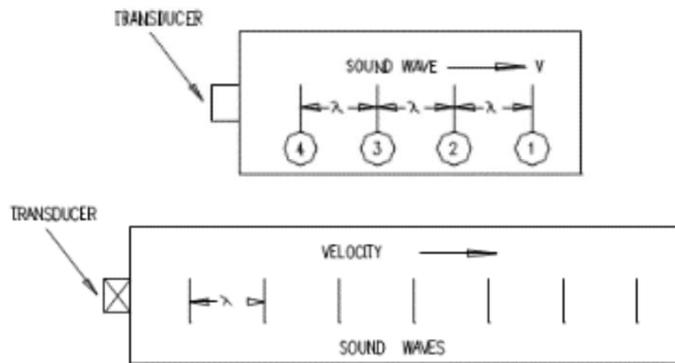
Dasar Teori dan Rumus Fisika Yang Dipergunakan

Visualisasikan bahwa bola yang ditunjukkan di bawah ini menyajikan struktur internal pada udara, air dan baja. Dorongan yang bergerak melalui bola yang berbaris dapat dibandingkan dengan denyut suara ultrasonik.



Gambar 1. Ilustrasi kerapatan partikel material

Panjang gelombang dianggap jarak antara dua perpindahan berturut-turut. Simbol λ digunakan untuk mewakili 251 pecime gelombang dan disebut “lambda”. Ilustrasi di bawah ini menunjukkan transduser bergetar pada frekuensi tetap (f) dan mentransmisikan suara ke 251 pecimen.



Gambar 2. Ilustrasi Panjang gelombang ultrasonik

Gelombang suara ini bergerak dengan kecepatan tetap (v) melalui material spesimen. Panjang gelombang bisa berubah jika frekuensi getaran transduser berubah. Panjang gelombang adalah rasio dari nilai tetap (kecepatan) dibagi dengan variabel (frekuensi), berdasarkan formula berikut:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Dimana, λ : Panjang gelombang, v : cepat rambat, f : frekuensi

Dalam situasi praktis, diskontinuitas terkecil dapat Anda temukan dengan pengujian ultrasonik diperoleh sekitar $\frac{1}{2}$ Lambda (panjang gelombang), akan dibahas pada artikel selanjutnya.

Kecepatan dapat didefinisikan sebagai jarak yang akan disebarkan gelombang melalui media dalam satuan waktu tertentu, biasanya detik. Kecepatan gelombang tetap konstan melalui medium tertentu. Gelombang ultrasonik direfleksikan saat mereka menemukan medium impedansi akustik yang berbeda. "Permukaan" di mana refleksi ini terjadi disebut "antarmuka". Antarmuka adalah batas umum antara dua bahan atau fase, seperti aluminium - ke - baja atau baja - ke - udara.

Jarak adalah suatu ukuran numerik yang menunjukkan seberapa jauh posisi suatu objek dengan objek lainnya. Dalam pengujian Ultrasonik, objek yang dimaksud adalah sensor ultrasonik/piezo elektrik dan bidang pantul getaran ultrasonik di dalam material.

Rumus Jarak:

“Dengan mengukur waktu tempuh yang diperlukan gema untuk kembali, jarak dapat dihitung dengan menggunakan kecepatan suara di dalam material. (pengukuran waktu tempuh sebagai jarak)

$$s = (t * c) / 2$$

dimana s : jarak ; t : waktu tempuh ; c : cepat rambat ultrasonic di material / velocity

Rumus Penguatan dalam Ultrasonik:

Ketika mengacu pada pengukuran besaran daya akar, biasanya mempertimbangkan rasio kuadrat F (diukur) dan F₀ (referensi). Ini karena definisi awalnya dirumuskan untuk memberikan nilai yang sama untuk rasio relatif baik untuk besaran pangkat maupun besaran daya akar. Dengan demikian, definisi berikut digunakan:

$$L_F = \ln\left(\frac{F}{F_0}\right) N_p = 10 \log_{10}\left(\frac{F^2}{F_0^2}\right) \text{ dB} = 20 \log_{10}\left(\frac{F}{F_0}\right) \text{ dB}.$$

IEC mengizinkan penggunaan desibel dengan jumlah daya akar serta daya dan rekomendasi ini diikuti oleh banyak badan standar nasional, seperti NIST, yang membenarkan penggunaan desibel untuk rasio tegangan.

Pada sirkuit listrik, daya yang hilang biasanya sebanding dengan kuadrat tegangan atau arus ketika impedansi konstan. Persamaan untuk tingkat penguatan daya :

$$L_G = 20 \log_{10}\left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right) \text{ dB},$$

dimana L_G: Penguatan/Gain, V_{out}: Tegangan output root-mean-square (rms), V_{in}: Tegangan input rms

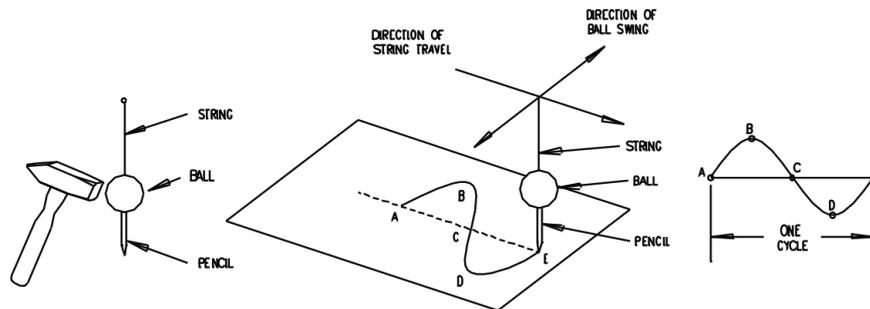
Tingkat suatu besaran adalah logaritma dari rasio nilai besaran itu terhadap suatu nilai acuan dari jenis besaran yang sama.

Prinsip Kerja Peralatan Ultrasonik

Ultrasonik adalah teknik pemeriksaan serbaguna, digunakan untuk menguji berbagai produk logam dan non metalik seperti pengelasan, penempaan, pengecoran, lembaran, tabung, plastik dan keramik. Ultrasonik memiliki keuntungan untuk mendeteksi diskontinuitas lapisan bawah permukaan dengan hanya memiliki satu sisi spesimen. Dalam pengujian ultrasonik kita menggunakan sesuatu yang disebut "Getaran Ultrasonik". Kita mengetahui dua fakta tentang getaran:

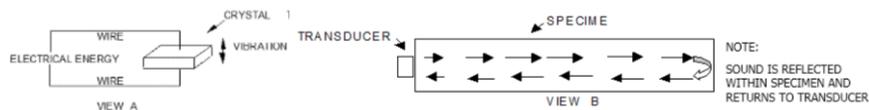
1. Getaran adalah gerakan maju mundur.
2. Getaran adalah energi yang bergerak.

Depresi permukaan dari posisi normalnya disebut perpindahan. Getaran melewati material padat sebagai pengganti perpindahan partikel. Struktur material sebenarnya memiliki banyak partikel kecil atau kelompok atom. Partikel ini memiliki posisi normal atau posisi diam dan dapat berpindah dari posisi ini dengan beberapa gaya. Bila gaya dilepaskan, partikel akan cenderung kembali ke posisi asalnya. Energi ditransmisikan melalui bahan padat oleh serangkaian perpindahan material kecil di dalam material. Transmisi getaran ultrasonik melalui material berhubungan dengan sifat elastis material. Jika Anda menyentuh permukaan material, permukaan bergerak ke dalam, menyebabkan perpindahan. Karena materialnya elastis maka permukaan akan cenderung bergerak kembali ke posisi semula (istirahat). Permukaan juga akan bergerak melalui posisi semula dan bergerak ke jarak maksimum ke arah yang berlawanan. Urutan gerakan lengkap ini didefinisikan sebagai sebuah siklus.



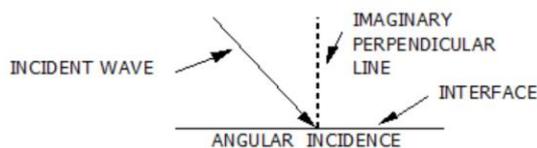
Gambar 3. Siklus getaran

Energi getaran ultrasonik berasal dari sesuatu yang disebut "transduser". Transduser adalah perangkat yang mengubah energi dari satu ke yang lain. Dalam pengujian ultrasonik, transducer berupa kristal piezoelektrik. Energi listrik menyebabkan kristal piezoelektrik mengembang dan berkontraksi, membentuk getaran mekanis. Transduser piezoelektrik juga bisa mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Oleh karena itu, transduser bisa mengirim dan menerima energi.



Gambar 4. Prinsip kerja transduser

Udara adalah pemancar ultrasonik yang buruk karena kepadatan partikelnya sangat rendah sehingga sulit untuk mentransmisikan energi suara ke dalam material uji, jika antara transduser dan material uji terdapat udara. Itulah sebabnya mengapa kita harus menaruh oli, air ataupun gel di antara transduser dan material uji. Media perantara tersebut biasa disebut sebagai kuplan pada pengujian ultrasonik. Tujuan utama kuplan adalah untuk menyediakan jalur suara yang sesuai antara transduser dan permukaan uji, selain itu dapat memudahkan pergerakan transduser ultrasonik. Kepadatan partikel bahan membantu menentukan kecepatan suara. Berkas energi yang mendekati sebuah antarmuka disebut sebagai "gelombang insiden". Sudut di mana gelombang menyentuh antarmuka dikenal sebagai "sudut insiden" seperti yang ditunjukkan di bawah ini.



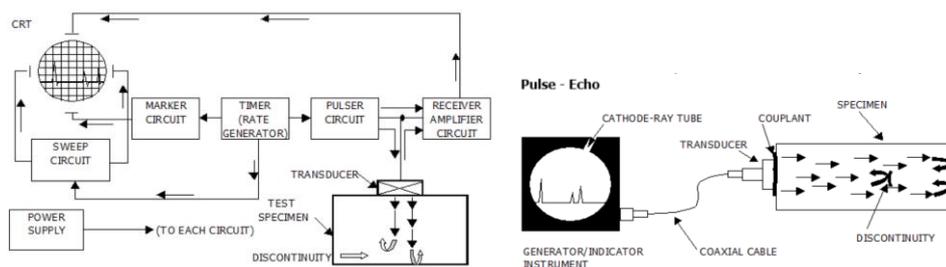
Gambar 5. Refleksi ultrasonik

Gelombang insiden dikatakan memiliki kejadian normal ketika arah propagasinya tegak lurus terhadap sebuah antarmuka. Beberapa energi gelombang yang

menyentuh sebuah antarmuka akan ditransmisikan melalui antarmuka dan beberapa akan terpantul pada sudut insiden. Jumlah refleksi bergantung pada rasio impedansi akustik antara kedua media yang terlibat. Faktor pemantulan ini akan dibahas secara rinci pada artikel berikutnya, mengenai penggunaan transduser normal, sudut dan fenomena yang terjadi pada pengujian ultrasonik untuk mengukur ketebalan dan cacat internal material.

Pada pengujian ultrasonik dikenal istilah A-Scan, yaitu suatu display pada CRT tube dimana sinyal kembali ditampilkan sebagai suatu tinggi vertikal atau “pip” dari jejak waktu sapuan horizontal, yang mana jarak horizontal antara 2 sinyal menunjukkan jarak material (atau waktu tempuh) antara dua kondisi yang menyebabkan sinyal. Sehingga pada layar, terdapat 2 sumbu, yaitu X dan Y, dimana X adalah representasi dari waktu tempuh/jarak (dalam satuan : mm) dan Y adalah representasi dari intensitas energi ultrasonik atau amplitudo (dalam satuan : decibel, dB).

Alat ultrasonik pulse echo menghasilkan pulsa listrik bertegangan tinggi dengan durasi pendek. Pulsa ini diterapkan pada transduser yang kemudian berubah menjadi getaran mekanis yang diterapkan pada bahan yang diperiksa. Sebagian besar suara terpantulkan dari permukaan bagian depan bahan uji kembali ke transduser. Sisanya terpantulkan dari permukaan belakang atau diskontinuitas. Suara yang dipantulkan kembali ke transduser diubah kembali menjadi pulsa listrik, yang diperkuat dan ditampilkan kembali ke pulsa listrik, yang diperkuat dan ditampilkan pada tabung sinar katoda (CRT) sebagai pulsa vertikal. Layar A-Scan menunjukkan kedalaman dan amplitudo dari pantulan suara dari diskontinuitas. Amplitudo adalah ukuran relatif dari jumlah energi yang terpantulkan.



Gambar 6. Skema kerja alat Ultrasonic Flaw Detector

Pulsa tinggi berdurasi pendek yang muncul pada layar peralatan sering disebut sebagai “main bang” ultrasonik atau pulsa initial merepresentasikan emisi energi ultrasonik dari permukaan kristal piezoelektrik. Perkembangan peralatan ultrasonik flaw detector saat ini sudah menggunakan digitalisasi, bahkan komputerisasi dan aplikasi mobile phone seperti gambar di bawah ini.



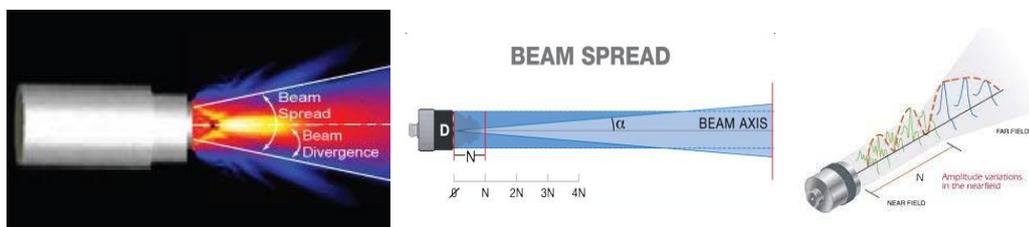
Gambar 7. Perkembangan alat Ultrasonic Flaw Detector

Transduser Ultrasonik Untuk Uji Tak Rusak

Pada pengujian ultrasonik terdapat beberapa jenis transduser:

1. Transduser kristal tunggal
2. Transduser kristal ganda / dual
3. Transduser sudut

Transduser pada pengujian ultrasonik, menghasilkan pancaran sinyal ultrasonik berbentuk lobus. Kebanyakan energi ultrasonik terkonsentrasi di sepanjang garis tengah berkas. Lobus sekunder atau samping dari permukaan transduser dan memancar menjauh dari kaidah arah perambatan suara. Ada lobus sekunder yang mewakili daerah dengan intensitas tinggi dan rendah di tepi berkas. Karena lobus sekunder, lebar yang terpakai pada transduser kurang dari lebar fisik transduser. Diameter transduser memiliki pengaruh yang pasti terhadap berkas suara yang ditransmisikan melalui media. Mengubah frekuensi getar transduser juga akan mengubah penyebaran berkas. Divergensi/penyebaran berbanding terbalik dengan frekuensi. Oleh karena itu, transduser frekuensi tinggi memiliki berkas suara yang diameternya lebih konstan daripada transduser frekuensi rendah.



Gambar 8. Divergensi ultrasonik

Dari gambar di atas dapat dipahami bahwa terdapat 2 area yang dihasilkan, yaitu :

1. Area zona dekat atau Fresnel Field, N yaitu jarak tepat di depan transduser yang terdiri dari karakteristik muka gelombang yang kompleks dan berubah-ubah, sehingga tidak mungkin dilakukan evaluasi. Sering disebut sebagai “Dead Zone”.

2. Area zona jauh, $>N$ yaitu wilayah di luar medan dekat di mana interval intensitas transmisi akustik tinggi dan rendah berhenti terjadi, sehingga memungkinkan dilakukan evaluasi.

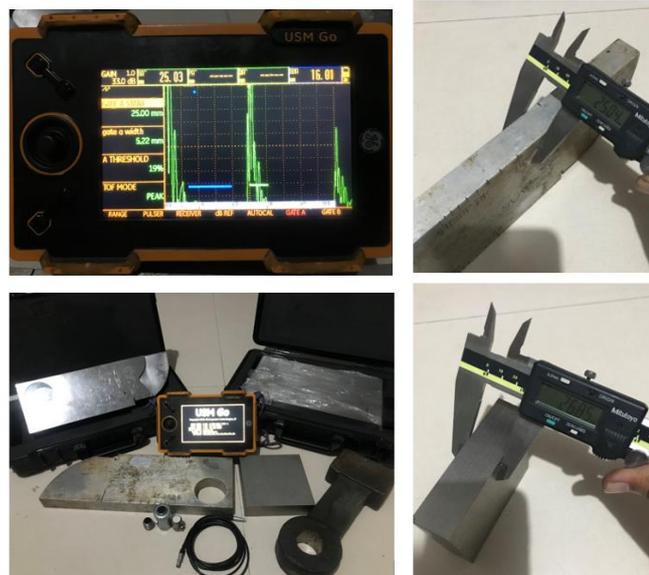
Sangat penting untuk diperhatikan bahwa getaran ultrasonik akan dipantulkan kembali apabila mengenai bidang pantul yang tegak lurus dengan arah getarannya. Adapun bidang pantul yang tidak tegak lurus akan menghasilkan pemantulan ke arah yang tidak beraturan, biasanya pada layar akan terjadi atenuasi pada tinggi sinyal (sumbu Y : amplitudo). Oleh karena nya seorang operator harus memahami fenomena ini agar tidak terjadi kesalahan interpretasi hasil uji. Tetapi fenomena ini dapat dihindari dengan penggunaan Angle beam transduser, yang mana sinyal ultrasonik yang keluar memiliki sudut tertentu, biasanya digunakan transduser sudut, memiliki besar sudut : 45 derajat, 60 derajat, dan 70 derajat (sudut yang biasa dipergunakan).

METODE

A. Peralatan dan Sampel Uji beserta alat Validasi dan Verifikasi

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Ultrasonik Flaw Detector, tipe Digital, model USM GO+, Merk : GEIT-USA
2. Transduser Satu elemen, dia. : 10mm / freq. : 2.5 MHz, merk : ACSYS-Rusia
3. Transduser Satu elemen, dia. : 10mm / freq. : 4 MHz, merk : GEIT-USA
4. Transduser Satu elemen dia. 10mm / freq. : 10 MHz, merk : Trusonic-Taiwan
5. Cable untuk Satu elemen transduser
6. Material Carbon Steel V1, tebal : 25.03mm
7. Material Aluminium V1, tebal : 25.04mm
8. Material Stainless Steel, tebal : 38.04mm
9. Material Titanium, tebal : 26.85mm
10. Material Iron, tebal : 29.00mm
11. Digital Caliper 0-300mm, resolusi : 2 digit dibelakang koma, sebagai validitas dari sampel uji, merk : Mitutoyo-Japan
12. Oli Singer untuk Kuplan
13. Alat uji kekerasan, Hardness Tester, sebagai Alat verifikasi, metode Rebound , merk : Mitech-China
14. Blok kalibrasi Hardness, dengan Nilai : 480 HL (Hardness Leeb) - terkalibrasi



Gambar 9. Alat dan sampel uji

B. Persiapan material dan Validasi Sampel

Peralatan Ultrasonik Flaw Detector harus telah terisi penuh batere nya dan diusahakan tidak Low Bat agar tidak mempengaruhi hasil pengujian. Permukaan sampel harus halus dan bebas karat agar tidak mengganggu hasil pengujian. Titik sampel pengujian harus diperiksa agar tidak ada cacat internal, yang dapat mengganggu hasil pengujian. Transduser dan kabel transduser juga harus diperiksa, agar berfungsi dengan baik dan tidak ada gangguan interferensi yang disebabkan kabel transduser.

Setelah persiapan selesai, semua sampel material divalidasi menggunakan Digital caliper agar diperoleh nilai ketebalan sebenarnya, dengan resolusi 2 angka di belakang koma. Lakukan pengecekan dengan teliti. Kemudian lakukan pemeriksaan transduser dengan melakukan kalibrasi peralatan pada blok material V1, Carbon Steel pada ketebalan 25mm, gunakan Semi Auto kalibrasi yang tersedia pada fitur peralatan, yaitu dengan menggunakan 2 echoes yang di record sehingga didapat P-Delay dan Velocity material serta ketebalan yang sesuai dengan benda uji, setelah itu verifikasi pada ketebalan 100mm, jika perlu ke ketebalan 85mm, 91mm pada blok V1.

C. Pengujian

Dalam pengujian velocity material kita menggunakan transduser: satu elemen dengan frekuensi 2.5 MHz, 4 MHz, dan 10 MHz dan sampel uji material: carbon steel, aluminium, stainless steel, titanium dan iron. Dari hasil pengukuran didapat:

Tabel 1. Hasil pengukuran

FREQ.TRANSDUSER @ 80% pip	MATERIAL										
	Aluminium		Carbon Steel A1018		Stainless Steel 304		Titanium Gr.2		Iron		
	dB	Velocity	dB	Velocity	dB	Velocity	dB	Velocity	dB	Velocity	
		A1	A2	A3	A4	A5					
2.5 MHz	B1	15	6415	17	5957	23	5737	33	6121	55	5900
4 MHz	B2	26	6418	30	5965	35	5757	36	6173	57	5831
10 MHz	B3	59	6404	65	5937	78	5716	65	6154	80	5886

Dari data di atas kita melakukan tabel bantu agar memudahkan untuk memasukkan ke program statistika SPSS:

Tabel 2. Hasil ANOVA 2 Arah output SPSS

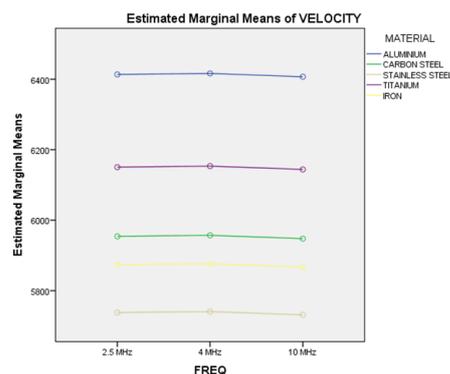
Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VELOCITY

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	831571.200 ^a	6	138595.200	214.140	.000
Intercept	544461176.067	1	544461176.067	841234.789	.000
A	831338.267	4	207834.567	321.121	.000
B	232.933	2	116.467	.180	.839
Error	5177.733	8	647.217		
Total	545297925.000	15			
Corrected Total	836748.933	14			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .989)

Profile Plots



Gambar 10. Diagram plot material output SPSS

Lakukan Uji Statistika dengan menggunakan ANOVA 2 ARAH tanpa replikasi, didapat:

Dari pengujian SPSS diketahui:

- A: Material
- B: Frekuensi
- Y: Velocity

- a. Test of Between-Subjects Effects : Output untuk uji hipotesis penelitian untuk menjawab rumusan masalah
- b. Corrected Model: Pengaruh secara bersama-sama tentang kedua faktor variabel independent (Material dan Frekuensi) menentukan variabel dependent nya (Velocity).
Apabila Sig. (0.000) < 0.05, berarti model yang diperoleh adalah valid. Terdapat pengaruh secara bersama-sama variabel independent terhadap variabel dependent.
Intercept: Nilai perubahan variabel Dependent (*Velocity*) tanpa perlu dipengaruhi keberadaan variabel independent (Material dan Frekuensi).
Apabila Sig. (0.000) < 0.05, berarti intercept ini berkontribusi secara signifikan.
- c. Pada bagian bawah tabel terdapat hasil :
Koefisien determinasi digunakan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara 0 sampai dengan Koefisien determinasi yang mendekati angka 0 maka semakin kecil pengaruh semua variabel independen terhadap variabel dependen. Sebaliknya jika mendekati angka 1 maka semakin besar pengaruh semua variabel independen terhadap variabel dependen. Apabila R Squared mendekati angka 1, menunjukkan bahwa pengaruh kedua variabel bebas/independent terhadap variabel terikat/dependen, sangat besar, atau dikatakan mempengaruhi secara signifikan.

Hipotesis Statistik

Pertama

Hipotesis Statistik

H₀ : $\mu_{01} = \mu_{02}$

H₁ : $\mu_{01} \neq \mu_{02}$

Hipotesis Penelitian

H₀ : Terdapat pengaruh yang tidak signifikan Material terhadap Velocity

H₁ : Terdapat pengaruh yang signifikan Material terhadap Velocity

Kriteria Pengujian:

Tolak H₀ dan Terima H₁, Jika Nilai Sig. < 0.05

Terima H₀ dan Tolak H₁, Jika Nilai Sig. > 0.05

Kedua

Hipotesis Statistik:

H₀ : $\mu_{10} = \mu_{20}$

H₁ : $\mu_{10} \neq \mu_{20}$

Hipotesis Penelitian:

H₀ : Terdapat pengaruh yang tidak signifikan Frekuensi terhadap Velocity

H₁ : Terdapat pengaruh yang signifikan Frekuensi terhadap Velocity

Kriteria Pengujian:

Tolak H₀ dan Terima H₁, Jika Nilai Sig. < 0.05

Terima H₀ dan Tolak H₁, Jika Nilai Sig. > 0.05

Hasil Statistik:

1. Nilai F_0 : 321.121 dan Signifikansi : $0.000 < 0.05$, maka dapat disimpulkan bahwa Tolak H_0 dan Terima H_1 , artinya Terdapat pengaruh yang signifikan Material terhadap Velocity
2. Nilai F_0 : 0.180 dan Signifikansi : $0.839 > 0.05$, maka dapat disimpulkan bahwa Terima H_0 dan Tolak H_1 , artinya Terdapat pengaruh yang tidak signifikan Frekuensi terhadap Velocity
3. Pada baris Corrected Model diperoleh F_0 : 214.140 dan Sig. (0.000) < 0.05 , maka model yang diperoleh adalah valid, sehingga terdapat pengaruh secara bersama-sama Material dan Frekuensi terhadap Velocity.
4. Pada baris Intercept diperoleh 841234.789 dan Sig. (0.000) < 0.05 , maka intercept ini berkontribusi secara signifikan.
5. Pada Adjusted R Square, diperoleh Nilai: 0.989, menunjukkan bahwa pengaruh kedua variabel bebas/independen, yaitu Material dan Frekuensi sebesar: 0.989 atau 98.9%, terhadap variabel terikat/dependen, Velocity, sangat besar, atau dikatakan mempengaruhi secara signifikan.

D. Verifikasi hasil uji menggunakan alat uji kekerasan

Setelah kita mendapatkan hasil, maka perlu dilakukan verifikasi dengan peralatan lainnya untuk memperkuat hasil penelitian yang telah kita lakukan. Langkah-langkah nya sebagai berikut:

1. Persiapkan peralatan uji kekerasan, dalam hal ini dipergunakan metode Rebound, dan satuan yang dipilih adalah : Hardness Leeb / HL
2. Melakukan pembersihan permukaan material dan blok kalibrasi
3. Lakukan kalibrasi alat uji kekerasan menggunakan blok kalibrasi (Nilai: 480 HL)
4. Melakukan pengujian, per sampel diambil 3 pengukuran dan di hitung reratanya.

Didapatkan hasil berikut:

Hasil Uji Kekerasan

Tabel 3. Hasil pengukuran uji kekerasan

NO	MATERIAL	DATA PENGUKURAN (satuan: HL)			
		1	2	3	AVERAGE
1	Aluminium	305	299	301	302
2	Baja Karbon	413	415	415	414
3	Baja Stainless	452	443	444	446
4	Titanium	516	523	532	524
5	Besi	739	755	748	748



Gambar 11. Alat uji kekerasan

5. Membandingkan hasil uji kekerasan dengan intensitas pada hasil pengukuran, didapat:

Tabel 4. Tabel perbandingan hasil ukur Gain dan Kekerasan

NO	MATERIAL	GAIN	Hardness
		4 MHz	
1	Aluminium	26	302
2	Baja Karbon	30	414
3	Baja Stainless	35	446
4	Titanium	36	524
5	Besi	57	748

6. Analisis:
Material memiliki kekerasan yang mempengaruhi daya penetrasi dari gelombang ultrasonik dan semakin keras material, dibutuhkan penguatan yang lebih besar pada setting peralatan ultrasonic flaw detector, yang dilambangkan sebagai GAIN, dengan satuan Desibel, dB.
7. Simpulan:
Kecepatan gelombang ultrasonik dapat dikorelasikan dengan pengukuran teknik uji kekerasan yang diterima untuk bahan dengan nilai kekerasan yang berbeda. Pembahasan hal ini akan diberikan pada artikel berikutnya.

PENUTUP

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, jenis material memiliki pengaruh terhadap cepat rambat gelombang ultrasonik di dalam material. Dimana pada penelitian didapatkan hasil berikut:

1. Cepat rambat gelombang ultrasonik pada material Aluminium adalah 6412 mm/s
2. Cepat rambat gelombang ultrasonik pada material Baja Karbon adalah 5953 mm/s

3. Cepat rambat gelombang ultraonik pada material Baja Stainless adalah 5737 mm/s
4. Cepat rambat gelombang ultraonik pada material Titanium adalah 6149 mm/s
5. Cepat rambat gelombang ultraonik pada material Besi adalah 5872 mm/s

Dari penelitian juga didapat bahwa frekuensi mempengaruhi secara bersama-sama dengan jenis material terhadap kecepatan ultrasonik di dalam material.

Kecepatan gelombang ultrasonik dapat dikorelasikan dengan pengukuran teknik uji kekerasan yang diterima untuk bahan dengan nilai kekerasan yang berbeda.

SARAN

1. Perkembangan teknologi Uji Tak Rusak sangat pesat dengan berbagai inovasi baru yang memanfaatkan digitalisasi dan komputerisasi, bahkan saat ini mengarah pada kecerdasan buatan, dimana peralatan pintar sudah dikembangkan di Era Industri 4.0, sehingga merupakan sesuatu yang menarik untuk diteliti.
2. Program Pendidikan di Indonesia harus segera mungkin beradaptasi dengan perkembangan yang ada, misalnya dengan membuat studi kekhususan Uji Tak Rusak atau memasukkannya ke dalam mata kuliah penunjang, dan kemampuan mahasiswa harus dilengkapi dengan adanya praktikum dan ujian lisensi yang berstandar internasional.
3. Dalam era persaingan global, jangan sampai mahasiswa kita setelah lulus nanti hanyalah menjadi penonton bagi tenaga kerja asing yang bekerja di bidang Uji Tak Rusak di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Berke, Michael., *Nondestructive Material Testing with Ultrasonic-Introduction to the Basic Principles*, Krautkramer, 1992.
2. Hellier, Charles., *Handbook of Non Destructive Evaluation*, New York ; MacGrow-Hill companies Inc, 2003.
3. <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/Ultrasonics/index.xhtml>
4. Fatih UZUN a, *, Ali Nezihi BILGE b, Application of ultrasonic waves in measurement of hardness of welded arbon steels; Article in Defence Technology May 2015; DOI: 10.1016/j.dt.2015.05.002; https://www.researchgate.net/publication/279168094_Application_of_Ultrasonic_Waves_in_Measurement_of_Hardness_of_Welded_Carbon_Steels
5. Dr.Supardi, MPd., Ph.D., *Penilaian Autentik (pembelajaran Afektif, Kognitif dan psikomotorik)*, PT Rajagrafindo Persada, Depok, 2015.
6. Tatan Zenal Mutakin & Mamiek Suendarti, *Bahan Praktek Pengolahan Data Design and Analysis of Experiments*, PT.Pustaka Mandiri, Tangerang, 2019.