

BAB II

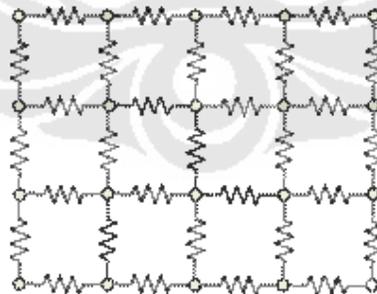
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. GELOMBANG ULTRASONIK SEBAGAI BAGIAN DARI SUARA

Suara merupakan bagian dari energi, suara berjalan melalui vibrasi dari kehadiran atom dan molekul, merambat dengan kecepatan dan tergantung dari sifat mekanik material. Ketidak-sempurnaan dan adanya inklusi dari material menyebabkan gelombang suara mengalami hamburan dan menghasilkan gema, gaung, dan pengurangan energi [3]. Gelombang ultrasonik merupakan bagian dari suara. Sehingga memiliki sifat – sifat yang sama dengan gelombang suara yaitu, memiliki nilai frekuensi, panjang gelombang, dan cepat rambat.

2.2. ILUSTRASI GELOMBANG ULTRASONIK

Gelombang ultrasonik dapat digambarkan seperti partikel atau masa dalam jumlah yang tidak terbatas yang terhubung oleh pegas yang elastis. Tiap partikel dipengaruhi oleh pergerakan dari tetangga terdekatnya dan baik oleh aksi gaya balik kembali inersia dan elastis yang terjadi pada setiap partikel [6].



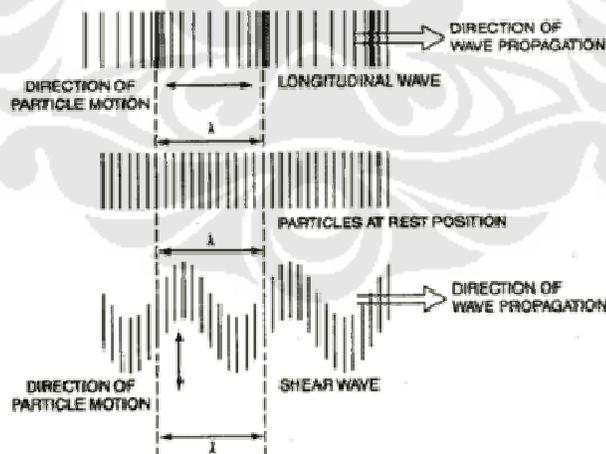
Gambar 2.1. Ilustrasi partikel saat terkena gelombang ultrasonik [6]

2.3. SPESIFIKASI GELOMBANG ULTRASONIK

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang yang memiliki frekuensi di atas 20 kHz, namun dalam aplikasinya frekuensi yang digunakan bervariasi dari 0,1 sampai dengan 15 MHz, dan kebanyakan aplikasi inspeksi dalam logam menggunakan frekuensi di bawah 10 MHz. Panjang gelombang yang dipakai antara 1 – 10 mm dan cepat rambat yang digunakan antara 1 – 10 km/s [3].

2.4. GELOMBANG LONGITUDINAL DAN TRANSVERSAL

Dalam material padat, gelombang ultrasonik dapat merambat dalam 4 (empat) bentuk yang mengacu dari arah getaran partikel – partikel pada material padat. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam bentuk gelombang longitudinal, gelombang transversal, gelombang permukaan, dan pada material tipis berlaku gelombang tipis (*plate waves*) [7]. Gelombang longitudinal dan gelombang transversal merupakan gelombang yang paling sering digunakan dalam pengujian ultrasonik. Pergerakan partikel berpengaruh terhadap rambatan dari gelombang longitudinal dan transversal yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2. Pergerakan partikel akibat gelombang longitudinal (atas) dan gelombang transversal (bawah) [7]

Dalam gelombang longitudinal, peristiwa osilasi terjadi pada arah longitudinal atau arah dari perambatan gelombang. Sejak gaya dilatasi dan gaya tekan aktif pada gelombang – gelombang ini, maka gelombang ini disebut juga

gelombang tekan (*pressure* atau *compression waves*). Gelombang ini sering disebut juga gelombang kerapatan (*density waves*) karena kerapatan partikel berfluktuasi saat gelombang ini bergerak. Gelombang ini dapat dipakai di material cair dan padat karena perjalanan energi melalui struktur atom terjadi dengan beberapa seri dari perbandingan dan ekspansi [7].

Dalam gelombang transversal atau gelombang geser, partikel – partikel berosilasi pada *right angle* atau arah transversal pada arah merambat. Gelombang transversal membutuhkan material solid yang akustik untuk merambat yang efektif, karena itu gelombang ini tidak efektif merambat pada material cair dan gas. Gelombang transversal relatif lebih lemah jika dibandingkan dengan gelombang longitudinal. Faktanya gelombang transversal sering diambil menggunakan beberapa energi dari gelombang longitudinal.

2.5. GELOMBANG ELASTIS MEKANIS

Gelombang ultrasonik merupakan gelombang elastis mekanis. Hal tersebut berarti gelombang ultrasonik memiliki karakter elastis dan karakter mekanis. Elastis berarti gelombang tersebut dapat dipantulkan dan mekanis berarti gelombang tersebut merambat dan perambatannya memberikan gambaran tentang sifat mekanis yang dimiliki oleh material [8].

2.6. KARAKTERISTIK GELOMBANG ULTRASONIK

Karakteristik gelombang ultrasonik adalah dapat dipantulkan dan dapat diteruskan apabila melewati batas media yang memiliki perbedaan impedansi akustik . Pantulan akan bermacam – macam bentuknya dari pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi) sampai pada penghamburan (*scattering*). Impedansi akustik tiap material berbeda – beda, karena impedansi merupakan hasil kali densitas dan kecepatan gelombang ultrasonik pada material tersebut [9]. Tiap material memiliki densitas dan kecepatan gelombang ultrasonik yang berbeda – beda. Sehingga karakterisasi material melalui gelombang ultrasonik sangat dimungkinkan. Semakin besar perbedaan impedansi akustik antara media yang satu dengan yang lain maka fenomena pantulan akan semakin besar dan fenomena penerusan akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

2.7. HUBUNGAN KARAKTERISASI MATERIAL DAN GELOMBANG ULTRASONIK

Kecepatan merambat suara berbeda tergantung pada material yang menjadi media perantara bahan. Hal ini dikarenakan masa dari partikel atom dan konstanta pegas untuk tiap material berbeda – beda. Masa partikel atom berhubungan dengan berat jenis material. Konstanta pegas berhubungan dengan konstanta elastis dari material. Secara umum, hubungan antara kecepatan suara di dalam material solid, berat jenisnya, dan konstanta elastisnya dijelaskan oleh persamaan di bawah ini :

$$V = \sqrt{\frac{C_{ij}}{\rho}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana, **V** adalah kecepatan suara, **C** konstanta elastis, dan **ρ** berat jenis material. Perhitungan ini memiliki bentuk yang berbeda – beda tergantung pada tipe gelombangnya (gelombang longitudinal atau gelombang transversal) dan konstanta elastis yang digunakan. Konstanta elastis yang digunakan dalam material termasuk :

- Modulus Young, **E**: Hubungan proporsional konstan antara tegangan *uniaxial* dan regangan.
- *Poisson's Ratio*, **ν**: rasio dari regangan *radial* dan regangan *axial*.
- Modulus Bulk, **K**: Perhitungan dari *incompressibility* dari material yang terkena tekanan hidrostatik.
- Modulus Geser, **G**: sering disebut juga *rigidity*, perhitungan terhadap gaya tahan material terhadap beban geser yang diberikan.
- Konstanta Lamé's, **l** and **m**: Konstanta material yang diturunkan dari Modulus Young dan *Poisson's Ratio*.

Ketika melakukan perhitungan kecepatan gelombang longitudinal biasa digunakan Modulus Young dan *Poisson's Ratio*. Ketika melakukan perhitungan

dari gelombang transversal maka Modulus Geser digunakan. Hal yang lebih mudah ialah menggunakan konstanta Lamé's, yang diturunkan dari Modulus Young dan *Poisson's Ratio*.

Hal yang perlu diperhatikan ialah kata **ij** yang menempel pada kata **C** dalam perhitungan di atas digunakan untuk mengindikasikan arah dari konstanta elastis dalam pengaruhnya terhadap jenis gelombang dan arah dari perjalanan gelombang. Dalam material isotropik, konstanta elastik material sama untuk semua arah di dalam material. Namun, kenyataannya kebanyakan dari material merupakan material anisotropik dan memiliki konstanta elastis yang berbeda untuk tiap arahnya. Sebagai contohnya, sebuah lembaran aluminium yang dicanai (*roll*) memiliki butir yang memanjang di salah satu arahnya dan berlawanan (memendek) di arah sebaliknya sehingga aluminium ini memiliki konstanta elastik pada arah longitudinal yang berbeda dengan konstanta elastik pada arah transversalnya.

Contoh perhitungan kecepatan suara *compressional* dalam material adalah:

- Aluminium - 0.632 m/detik
- Baja AISI 1020 - 0.589 m/detik
- Besi Tuang - 0.480 m/detik

Contoh perhitungan kecepatan suara *shear* dalam material adalah :

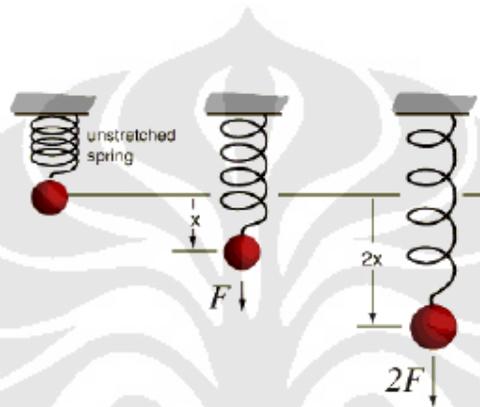
- Aluminium - 0.313 m/detik
- Baja AISI 1020 - 0.324 m/detik
- Besi Tuang - 0.240 m/detik

Ketika dibandingkan antara kecepatan gelombang longitudinal dan gelombang transversal, dapat diingat bahwa gelombang transversal memiliki setengah kali kecepatan yang dimiliki gelombang longitudinal.

$$\boxed{V_L = 2 V_T} \dots\dots\dots(2.2)$$

2.8. FISIKA GELOMBANG

Sebuah pegas memiliki memiliki frekuensi resonan tunggal (*single resonant frequency*) yang ditentukan oleh konstanta k dan masanya. Konstanta pegas merupakan gaya balik kembali dari pegas tiap unit panjang. Dengan batas elastis dari tiap material, terdapat sebuah hubungan linear antara pergerakan (*displacement*) dari sebuah partikel dan gaya yang berusaha untuk mengembalikan partikel tersebut ke titik seimbangnya, Kecenderungan linear ini dijelaskan dalam Hukum Hooke's.



Gambar 2.3. Ilustrasi hukum hooke's [6]

Dalam analogi model pegas di atas, Hooke's mengatakan bahwa gaya kembali pegas proporsional terhadap panjang pegas yang ditarik, dan terjadi pada arah yang berkebalikan. Secara matematis, Persamaan Hooke's ditulis sebagai berikut.

$$\mathbf{F =(-) k x} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana \mathbf{F} merupakan gaya, \mathbf{k} merupakan konstanta pegas, dan \mathbf{x} ialah perubahan panjang partikel pada pegas. Perlu diingat dalam gambar di atas bahwa pegas memberikan gaya yang sama pada partikel namun berkebalikan terhadap gaya tarik terhadap partikel tersebut.

2.8.1 Kecepatan

Kecepatan gelombang merupakan jarak yang ditempuh gelombang dalam satuan waktu. Hubungannya adalah sebagai berikut :

$$\mathbf{V = s/t} \dots\dots\dots(2.4)$$

Hukum Hooke's ketika dibandingkan dengan Hukum Newton kedua dapat menjelaskan beberapa hal tentang kecepatan bunyi di dalam material. Kecepatan bunyi di dalam material merupakan fungsi dari sifat material dan bebas dari amplitudo gelombang suara. Hukum kedua Newton mengatakan bahwa gaya yang diaplikasikan pada material akan diseimbangkan oleh massa partikel dan akselerasi partikel [6]. Secara matematis Hukum Newton kedua dapat ditulis dalam bentuk :

$$\mathbf{F = m a} \dots\dots\dots(2.5)$$

Sementara Hukum Hooke's berbunyi gaya yang diaplikasikan pada material akan diseimbangkan oleh gaya kembali pada arah yang berkebalikan, di mana gaya tersebut tergantung pada jumlah perubahan dan konstanta pegas ($\mathbf{F = -kx}$). Karena itu, semenjak gaya yang diberikan dan gaya balik kembali (*restoring force*) adalah sama, maka dapat ditulis persamaan di bawah. Adapun tanda negative mengindikasikan gaya berada arah yang sebaliknya.

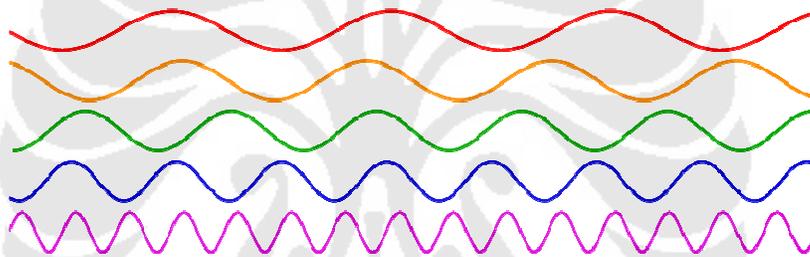
$$\mathbf{ma = -kx} \dots\dots\dots(2.6)$$

Jika masa (\mathbf{m}) dan konstanta pegas (\mathbf{k}) sama untuk tiap jenis material, maka dapat dilihat bahwa akselerasi (\mathbf{a}) dan perubahan (\mathbf{x}) adalah variabelnya dan dapat dilihat juga bahwa keduanya secara langsung berada dalam hubungan proporsional. Untuk praktisnya, maka dapat dikatakan bahwa jika perubahan partikel meningkat maka begitu juga akselerasinya. Hal ini juga menjelaskan bahwa waktu yang dibutuhkan partikel untuk berpindah dan kembali ke posisi

seimbangya tidak tergantung pada gaya yang diberikan. Sehingga di tiap material, suara selalu berjalan dengan kecepatan yang sama, tidak bergantung pada seberapa besar gaya yang diberikan dan ketika variabel yang lain yaitu temperatur dijaga konstan [6].

2.8.2 Frekuensi

Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan [10]. Hasil perhitungan ini dinyatakan dalam satuan hertz (Hz) ya itu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang pertama menemukan fenomena ini kali. Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik.



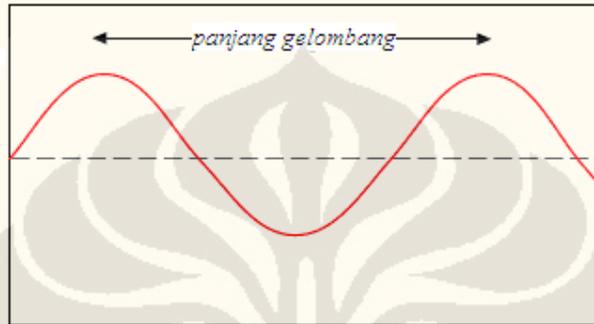
Gambar 2.4. Gelombang sinusoida dengan beberapa macam frekuensi, gelombang yang bawah mempunyai frekuensi yang lebih tinggi [10]

Secara sederhana, seseorang bisa mengukur waktu antara dua buah kejadian/peristiwa (dan menyebutnya sebagai periode), lalu memperhitungkan frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti nampak dari persamaan di bawah ini:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.8.3 Panjang Gelombang

Panjang Gelombang adalah sebuah jarak antara satuan berulang dari sebuah pola gelombang [11]. Panjang gelombang sering disebut dalam denotasi huruf Yunani *lambda* (λ). Dalam sebuah gelombang sinus, panjang gelombang adalah jarak antara puncak:



Gambar 2.5. Panjang gelombang [11]

Panjang gelombang λ memiliki hubungan berbanding terbalik terhadap frekuensi f . Panjang gelombang merupakan kecepatan gelombang dibagi dengan frekuensi gelombang. Hubungannya adalah:

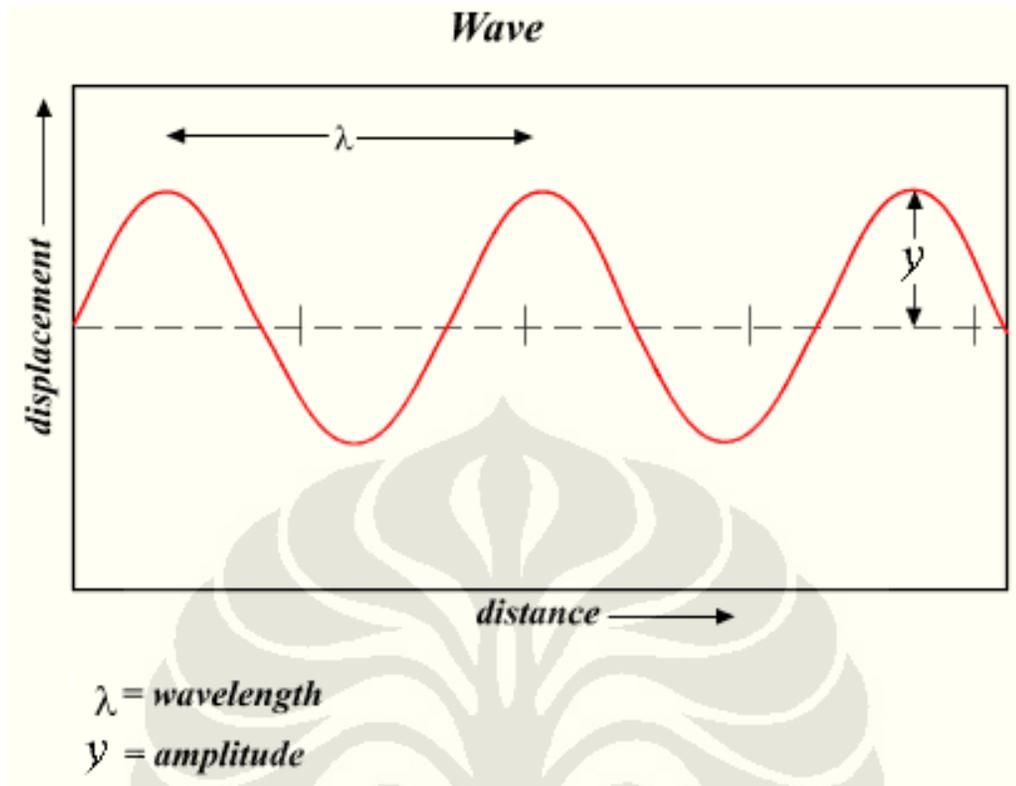
$$\lambda = V / f \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

λ = panjang gelombang dari sebuah gelombang suara

V = kecepatan gelombang

f = frekuensi gelombang



Gambar 2.6. Grafik sinusoidal menunjukkan panjang gelombang dan amplitudo [11]

2.8.4 Atenuasi

Atenuasi adalah fenomena pengurangan intensitas gelombang ultrasonik yang merambat melalui suatu material. Dalam kondisi ideal atenuasi akan terjadi karena divergensi berkas gelombang. Akan tetapi pada kondisi sebenarnya ternyata unsur intrinsik material juga menyebabkan atenuasi. Namun, sifat material dan kondisi pembebanan dapat dihubungkan dengan atenuasi. Atenuasi seringkali berguna sebagai parameter yang berguna untuk membentuk teori atau menjelaskan fenomena fisik dan kimia yang menurunkan intensitas gelombang ultrasonik.

Atenuasi terjadi dalam 2 hal yaitu penyerapan (*absorpsi*) dan penghamburan (*scattering*). Unsur intrinsik itu adalah perbedaan kadar paduan, morfologi struktur mikro, dan variasi ukuran butir material yang satu dengan yang lainnya [3].

Absorpsi terjadi karena energi mekanis berkas gelombang yang melewati media berubah menjadi energi panas, hal ini terjadi walaupun tidak menunjukkan adanya kenaikan suhu material yang signifikan.

Scattering terjadi apabila berkas gelombang melewati struktur yang secara mikro memiliki impedansi akustik yang berbeda, dalam hal ini batas butir memiliki impedansi akustik yang berbeda dengan butirnya karena butir dan batas butir memiliki perbedaan nilai densitas. Penghamburan merupakan bentuk pemantulan dengan sudut pantul yang acak karena berkas gelombang datang mengenai permukaan yang tidak beraturan.

Perubahan amplitudo karena penurunan panjang gelombang dapat diekspresikan sebagai :

$$A = A_0 e^{-\alpha z} \dots\dots\dots(2.9)$$

A_0 adalah amplitudo gelombang yang merambat pada beberapa lokasi yang sama. Amplitudo A akan berkurang setelah gelombang telah merambat pada jarak Z dari lokasi awal. Nilai α adalah koefisien atenuasi dari gelombang yang merambat pada arah sumbu z . Satuan dari α adalah nepers/length yang dapat dikonversikan menjadi decibels/length dengan membaginya dengan 0,1151. Nilai desibel ini merupakan satuan yang lebih umum saat dihubungkan dengan nilai amplitudo dari 2 (dua) sinyal. Nilai e adalah konstanta Napier's yang bernilai mendekati 2,71828.

$$\alpha = \frac{0.1151}{v} U_t \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana v kecepatan suara dalam meter per detik dan U_t dalam decibel per detik. Atenuasi dapat ditentukan dengan mengevaluasi *multiple backwall reflections* yang dilihat dengan tampilan *A-scan*. Jumlah decibel di antara 2 (dua)

sinyal yang bersebelahan diukur dan nilai ini dibagi dengan interval waktu di antara mereka.

2.8.5 Impedansi

Suara berjalan melewati material di bawah pengaruh dari *sound pressure*. Karena molekul – molekul atau atom – atom terhubung secara elastis, tekanan yang berlebih menghasilkan merambat gelombang di dalam material solid.

Gelombang merambat pada material dan tergantung pada resistansi atom material untuk bervibrasi ketika diberikan gaya. Resistansi ini disebut dengan **Z**, impedansi. Pada pengujian NDE, retak, batas butir, atau inklusi dideteksi lewat perubahan di dalam **Z** di antara media yang berbeda, ketika penghamburan (*scattering*) dan pemantulan terjadi [12].

Impedansi Akustik **Z** di dalam material didefinisikan sebagai hasil kali berat jenis material **ρ** dan kecepatan gelombang ultrasonik di dalam material **V** tersebut. Secara matematis ditulis sebagai berikut :

$$\mathbf{Z} = \rho \mathbf{V} \dots\dots\dots(2.11)$$

Impedansi akustik penting untuk :

1. Menentukan penerusan dan pemantulan akustik pada batas di antara 2 (dua) material yang memiliki perbedaan impedansi akustik.
2. Menentukan design transduser ultrasonik.
3. Menilai absorpsi suara di dalam media.

Perubahan impedansi juga mempengaruhi perubahan jumlah energi akustik yang diteruskan dan dipantulkan. Jumlah energi yang dipantulkan dan diteruskan merupakan jumlah fraksional dari jumlah energi yang diberikan pada permukaan material. Sehingga jumlah fraksional energi suara yang dipantulkan saat dijumlahkan dengan energi suara yang diteruskan sama dengan 1 (satu).

2.9 KOEFISIEN REFLEKSI DAN KOEFISIEN TRANSMISI

Gelombang ultrasonik dipantulkan pada batas di mana terdapat perbedaan pada impedansi akustik (Z) material. Perbedaan dalam nilai Z sering mengacu pada ketidaksesuaian impedansi. Semakin besar ketidaksesuaian impedansi, maka semakin besar persentase energi yang akan dipantulkan pada lapisan antar muka atau batas di antara media satu dan yang lainnya.

Fraksi intensitas gelombang yang datang dan dibiaskan dapat diturunkan karena kecepatan partikel dan tekanan local partikel (*local particle pressures*) harus berlanjut sepanjang batas. Ketika impedansi akustik 2 (dua) material diketahui maka fraksi intensitas gelombang datang yang dipantulkan dapat dihitung dengan perhitungan di bawah ini. Nilai yang dihasilkan disebut dengan koefisien refleksi. Mengalikan koefisien refleksi dengan nilai 100 (seratus) menghasilkan jumlah energi yang direfleksikan sebagai persentase dari energi awal.

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Jika jumlah energi yang direfleksikan ditambah dengan energi yang diteruskan harus sama dengan jumlah energi yang datang, maka koefisien transmisi dapat dihitung dengan mengurangi koefisien refleksi dari 1 (satu).

2.10 PEMBIASAN DAN HUKUM SNELLIUS

Ketika gelombang ultrasonik melewati lapisan antar muka di dalam material pada sudut yang miring (*oblique*) dan material tersebut memiliki sumbu pembiasan yang berbeda, hal itu menghasilkan baik gelombang pantul dan gelombang bias.

Pembiasan (Refraksi) terjadi pada lapisan antar muka karena perbedaan kecepatan pada gelombang suara di antara 2 (dua) material. Kecepatan suara di tiap material ditentukan oleh sifat material (Modulus Elastis dan berat jenis). Saat sebuah gelombang masuk di antara 2(dua) material, maka material yang memiliki

kecepatan akustik yang lebih tinggi menyebabkan gelombang lebih cepat bergerak di material tersebut.

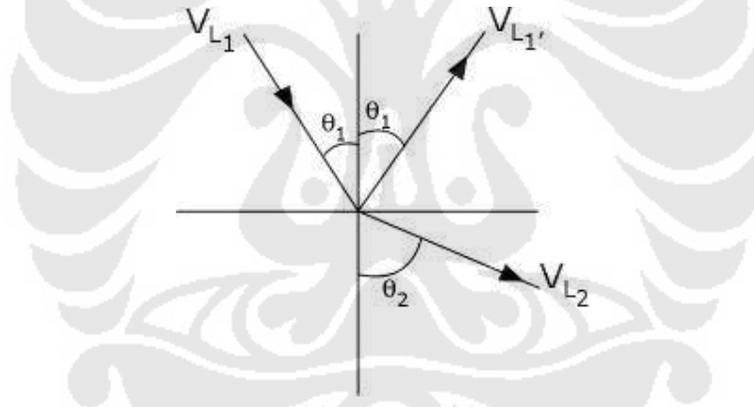
Hukum Snell's menjelaskan mengenai hubungan antara sudut dan kecepatan dari gelombang. Hukum menghitung perbandingan dari kecepatan gelombang pada material 1 (satu) V_1 dan pada material ke 2 (dua) V_2 terhadap perbandingan dari sinus sudut datang (θ_1) dan sudut pembiasan (refraksi) (θ_2) seperti yang ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini :

$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

V_{L1} , kecepatan gelombang longitudinal pada material 1 (satu) .

V_{L2} , kecepatan gelombang longitudinal pada material 2 (dua).



Gambar 2.7. Hukum snell's [17]

Perlu diperhatikan bahwa pada diagram di atas bahwa terdapat gelombang longitudinal yang dipantulkan (direfleksikan) ($V_{L1'}$). Gelombang ini dipantulkan (direfleksikan) pada sudut yang sama dengan sudut datang karena 2 (dua) gelombang ini merambat pada material yang sama sehingga memiliki kecepatan yang sama.

Ketika ada sebuah gelombang longitudinal yang bergerak dari material lamban ke cepat maka terdapat sudut datang yang membuat sudut bias (refraksi) menjadi 90° . Ini diketahui sebagai sudut kritis 1 (satu). Dari sudut ini kebanyakan dari energi akustik merupakan bentuk dari gelombang tekan (*compression*) yang

tidak homogen, yang merambat di sepanjang permukaan dan menurun secara eksponensial dari permukaan. Gelombang ini sering disebut gelombang mulur (*creep*). Karena kondisi yang tidak homogen ini dan fakta bahwa gelombang ini mengalami penurunan energi secara cepat dan langsung, maka gelombang ini tidak digunakan seperti gelombang rayleigh atau gelombang permukaan di dalam metode NDT. Namun gelombang mulur (*creep*) kadang berguna karena mereka sedikit mengalami pengaruh dari ketidakrataan dari permukaan dan mikrostruktur material kasar dikarenakan panjang gelombang mereka yang lebih panjang dari gelombang permukaan (rayleigh) [13].

2.11. SENSITIVITAS DAN RESOLUSI

Sensitivitas dan resolusi adalah dua istilah yang sering digunakan dalam inspeksi ultrasonik untuk menjelaskan kemampuan teknis untuk menemukan cacat. Sensitivitas merupakan kemampuan untuk menemukan diskontinuitas kecil. Sensitivitas secara umum meningkat dengan semakin tingginya frekuensi (semakin rendahnya panjang gelombang). Resolusi merupakan kemampuan sistem untuk menemukan diskontinuitas yang berdekatan di dalam material atau berada di lokasi dekat dengan bagian permukaan. Resolusi secara umum juga meningkat dengan peningkatan pada frekuensi.

Peningkatan frekuensi juga dapat berefek pada kapabilitas dari inspeksi dalam cara yang berlawanan. Karena itu, memilih frekuensi inspeksi yang optimal merupakan hal yang penting. Sebelum menginspeksi, struktur butir material, kekerasan, dan tipe diskontinuitas, bentuk dan kemungkinan letak lokasinya harus dipertimbangkan. Semakin tinggi frekuensi, suara cenderung untuk terhambur dari struktur butir yang besar atau kasar dan dari ketidak sempurnaan kecil di dalam material. Material hasil proses pengecoran umumnya memiliki butir – butir yang kasar sehingga proses hamburan (*scattering*) terjadi dalam jumlah yang besar, oleh karena itu dibutuhkan frekuensi rendah untuk menginspeksi material hasil proses pengecoran. Sedangkan material hasil *wrought* dan tempa dengan struktur butir yang memiliki arah tertentu dan telah dimurnikan dapat diinspeksi dengan frekuensi tinggi.

Banyak hal di dalam material yang mampu menyebabkan hamburan (*scattering*) dari energi suara pada frekuensi tinggi, sehingga daya penetrasi (kedalaman maksimum material dimana lokasi cacat dapat ditemukan) juga berkurang. Frekuensi juga memiliki efek pada bentuk dari gelombang ultrasonik.

2.12. MATERIAL

Tabel II.1. Komposisi Kimia Material SS400

Komposisi Kimia x100 (%)					
C	Si	Mn	P	S	Al
12	18,6	62,3	1,1	0,6	4,3

Sumber : Sertifikat PT Krakatau Steel

Tabel II.2. Hasil Uji Tarik Material SS400

Uji Tarik		
YS (N/MM2)	TS (N/MM2)	EL (%)
371	463	30

Sumber : Sertifikat PT Krakatau Steel

Tabel II.3. Sifat Fisik Material SS400

Sifat Fisik	
Density	7,87 g/cc

Tabel II.4. Hasil Uji Kekerasan material SS400)

Uji Kekerasan	
SS 400	125 BHN

Material SS400 jika dilihat dari komposisi kimianya termasuk dalam jenis baja karbon rendah (*plain low carbon steel*) dan jika dilihat menurut standart AISI dari hasil pengujian tarik dan pengujian kekerasan, maka material ini memiliki spesifikasi terdekat pada AISI 1010. Material SS400 biasa digunakan untuk pembuatan pipa baja.

2.13. QUENCHING

Quenching mengacu pada pendinginan cepat logam dari temperature austenisasinya atau *solution treating temperature*nya. Untuk Baja, *quenching* dilakukan untuk menghasilkan sejumlah martensite dalam mikrostrukturnya. Proses pengerasan yang sukses akan menghasilkan mikrostruktur, kekerasan, kekuatan dan ketangguhan yang dibutuhkan dengan meminimalkan tegangan sisa, distorsi, dan kemungkinan cacat.[15]. Pada prinsipnya fungsi *quenching* ialah mengontrol laju dari pertukaran panas pada baja.

Dalam prakteknya banyak metode *quenching* yang digunakan, namun yang paling sering digunakan ialah *direct quenching* dimana material dari temperatur austenisasinya langsung dicelupkan ke dalam media *quenching*.

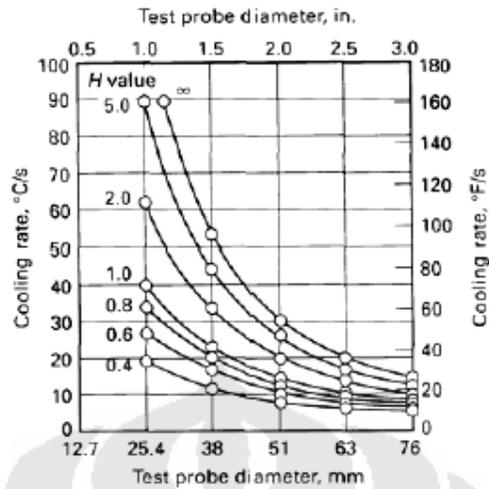
Media *quenching* yang digunakan pun bermacam – macam, masing media *quenching* berpengaruh terhadap laju pendinginan dari material, semakin tinggi laju pendinginan pada material maka semakin tinggi pula nilai kekerasan material akibat jumlah martensite yang terbentuk akan semakin banyak

Tabel II.5. Pengaruh media *quenching*

Circulation or Agitation	Grossman Quench Severity Factor, H			
	Brine Water	Water	Oil and Salt	Air
None	2	0,9-1,0	0,25-0,30	0,02
Mild	2-2,2	1,0-1,1	0,30-0,35	...
Moderate	...	1,2-1,3	0,35-0,40	.
Good	...	1,4-1,5	0,4-0,5	.
Strong	...	1,6-2,0	0,5-0,8	.
Violent	5	4	0,8-1	.

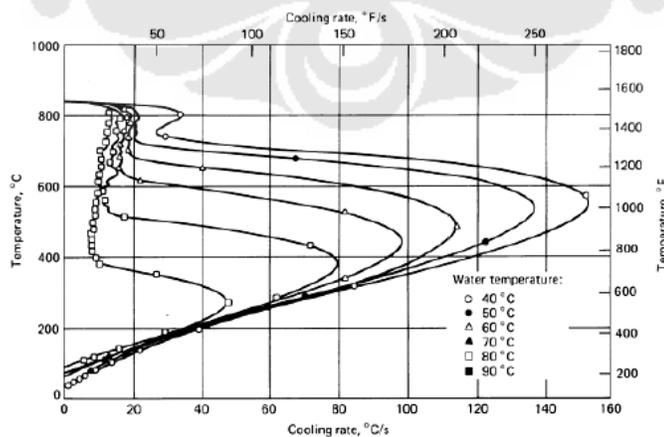
Sumber : ASM Handbook Vol 4

Dari tabel di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi Grossman Quench Severity Factor, **H**, maka semakin tinggi pula laju pendinginan yang terjadi pada material. Brine water dengan pengadukan (agitasi) secara cepat merupakan media yang paling dominan untuk meningkatkan laju pendinginan.



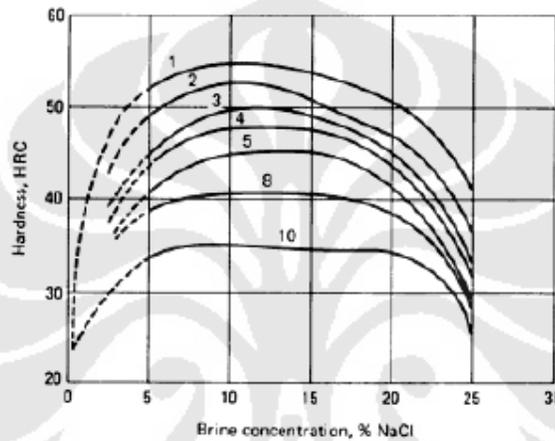
Gambar 2.8. Pengaruh Grossman Severity Factor, H terhadap laju pendinginan[15]

Air merupakan media *quenching* yang paling sering digunakan, mudah didapat dan mudah dalam proses pembuangannya. Laju pendinginan yang dihasilkan oleh air berada di bawah *brine water* dengan kelebihan air tidak menyebabkan korosi pada material. *Quenching* dengan air yang optimal harus dijaga pada kondisi air di temperature 15-25⁰C, dan jika dilakukan pengadukan harus diaduk sampai menghasilkan kecepatan lebih besar dari 0,25m/s [15]. Semakin rendah temperatur air pada saat quenching maka semakin cepat juga laju pendinginan yang terjadi.

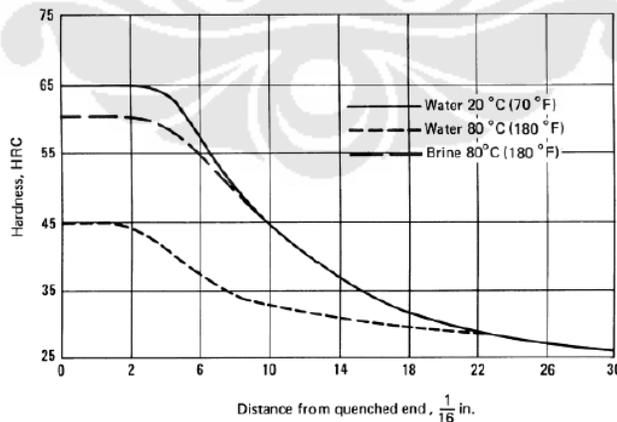


Gambar 2.9. Pengaruh temperatur air terhadap laju pendinginan [15]

Brine water merupakan komposisi air dengan garam sekitar 2-24% garam dalam 1 gallon air. Laju pendinginan yang dihasilkan *Brine water* lebih cepat dibandingkan dengan air. Namun lebih rentan terhadap proses korosi. Semakin tinggi kadar garam dalam *Brine water* maka semakin tinggi juga resiko korosi pada material. Sehingga komposisi optimal yang paling sering dipakai dalam *quenching* dengan *Brine water* berada dalam komposisi garam 10-12 %. *Brine water* biasa digunakan untuk menghasilkan kekerasan yang tidak bisa didapatkan oleh *quenching* dengan media air.

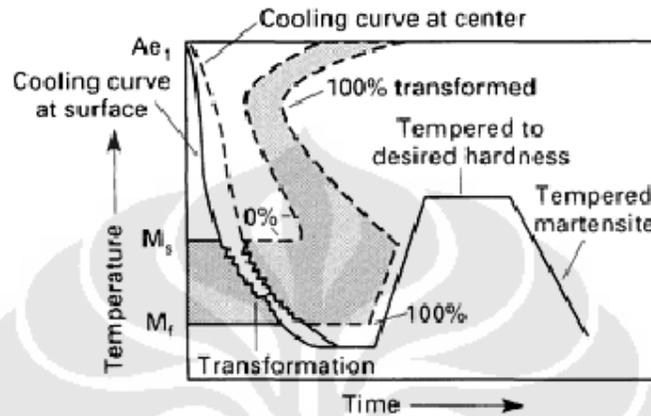


Gambar 2.10. Pengaruh kadar garam dalam brine water terhadap kekerasan, angka 1 – 10 menunjukkan jarak dari end quench, dimana angka terkecil berarti jarak terdekat. [15]



Gambar 2.11. Perbandingan tingkat kekerasan hasil quenching antara air dan brine water, brine water 80°C lebih efektif dibandingkan air 80°C [15]

Semakin cepat laju pendinginan maka semakin mudah pula terbentuk martensite dengan proses *quenching*. Dari Diagram di bawah terlihat bahwa laju pendinginan yang cepat membuat material langsung meyentuh garis martensite *start* (M_s) tanpa sempat menyentuh fasa lain di dalam kurva CCT lainnya, seperti pearlite dan bainite.



Gambar 2.12. Pengaruh laju pendinginan terhadap kurva CCT [15]