

INSTRUMENTASI AKUSTIK

S2 ITB

Instrumentasi Akustik

21 Februari 2017

The specific acoustic impedance

$$p(r) = \frac{A e^{-jkr}}{r}$$

$$u(r) = \frac{A}{j\omega \rho_0} \left[\frac{jk}{r} + \frac{1}{r^2} \right] e^{-jkr}$$

$$Z(r) = \frac{p(r)}{u(r)}$$

$$Z(r) = \rho_0 c_0 \left[\frac{jkr}{1 + jkr} \right]$$

kr : acoustic compactness

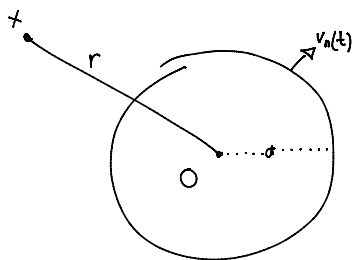
$kr \gg 1$

beamforming pada sudut tertentu

$kr \ll 1$

ke segala arah ?

$$Z(r) = \rho_0 c_0 \left[\frac{1}{1 - (j/kr)} \right]$$



a = rata-rata radius
pusat O irrotational $v = \nabla \psi$
memenuhi persamaan homogen berikut:

$$\frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \nabla^2 \psi = 0, \quad r = |x| > a$$

osilasi misal pada ω . Proporsional $e^{j\omega t}$.
maka karakteristik panjang gelombang dari
bunyi yang dihasilkan dari gerakan
 $\lambda = \frac{2\pi}{k_0}$, dimana $k_0 = \frac{\omega}{c_0}$ bilangan gelombang

Sphere di gambar 4.1: dikatakan "compact" apabila frekuensinya cukup kecil sehingga $k_0 a \ll 1$.

23 Februari 2017

Is loudspeaker acoustically compact? yes...!

dengan a yang kecil mampu menghasilkan λ besar.

Tetap

$$\frac{2\pi}{\lambda} \cdot a \ll 1$$

$a \ll \lambda$

dekat fluid sphere

$\nabla^2 \psi = 0, \quad r \sim a$
incompressible flow

$$\delta p \approx \frac{\delta p}{c_0^2}$$

$$\cot \theta = kr = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

kr bukan k dan r terpisah.

$$\cot \theta = \frac{1}{\tan \theta}$$

sudut keterarahan persoalan energi digunakan untuk mengembangkan loudspeaker.

$$Z(r) = \rho_0 c_0 \frac{(kr)^2}{1 + (kr)^2} + j \rho_0 c_0 \frac{kr}{1 + (kr)^2}$$

specific acoustic resistance
specific acoustic reactance

Keduanya mendekati 0 untuk kr yang sangat kecil.
nol

Harmonic Spherical Wave

$$p(r) = \frac{A e^{-jkr}}{r} = j_{\text{bessel}}(kr)$$

Bessel's Function untuk kasus silinder.

$$p(r,t) = \frac{j\omega \rho_0 \hat{Q}}{4\pi r} e^{j(\omega t - kr)} \quad (\text{from Kuttruf})$$

$$\omega t - kr = \frac{\pi}{2}$$

pergeseran fasa

$$Q(t) = \hat{Q} e^{j(\omega t - kr)}$$

* the angular wave number $k = \frac{\omega}{c}$

* the factor $j = \exp(j\pi/2)$ indicates an additional phase shift of 90° between the sound pressure and the volume velocity.

$$j\omega \rho_0 v_r = - \frac{\partial p}{\partial r}$$

turunan dari p:
$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{j\omega \rho_0 \hat{Q}}{4\pi r} \left(-\frac{1}{r} - jk \right) e^{j(\omega t - kr)} = -p \left(jk + \frac{1}{r} \right)$$

hence the particle velocity:

$$v_r = \frac{p}{\rho_0 c} \left(1 + \frac{1}{jkr} \right)$$

Transfer Function

Keluaran
Masukan \rightsquigarrow pressure
velocity

$$\frac{P}{v_r} = \frac{\rho_0 \cdot c}{1 + \frac{1}{jkr}}$$

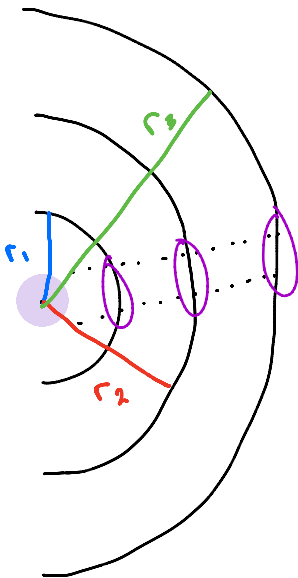
$Z_0 = \rho_0 \cdot c$ (Acoustic Characteristic Impedance)

untuk r yang amat kecil, fasa berbeda 90° .

apabila $kr \gg 1 \rightsquigarrow$ maka r lebih besar dari panjang gelombang

$$kr \gg 1 \rightsquigarrow r > \lambda$$

\hookrightarrow rasio $\frac{P}{v_r} \approx Z_0 = \rho_0 \cdot c$ MENDEKATI



Semakin jauh dari sumber suara maka muka gelombang yang lengkung lama-kelamaan tampak terlihat datar.

Sehingga dapat dianggap sebagai plane wave.

Batas kr dipengaruhi oleh panjang gelombang itu sendiri, dengan kata lain ya... frekuensi.

INGAT $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{c} f$ $\lambda f = c$

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

$$kr \gg 1 \rightsquigarrow Z_0 \approx \rho_0 \cdot c$$

$$\frac{P}{v_r} = \frac{Z_0}{1 + \frac{1}{jkr}}$$

$\frac{P}{v}$ akan mendekati nilai Z_0 apabila $kr \gg 1$. Agar $\frac{P}{v} = Z_0$ maka komponen pembagi $1 + \frac{1}{jkr} = 1$

r merupakan radius jarak dari posisi sumber menuju titik pengamatan.

k adalah bilangan gelombang

$$\frac{1}{jkr} = 0$$

$jkr \approx \infty$ (sangat besar)

$f_1 = 100 \text{ Hz}$
 $r = 2 \text{ meter}$

$\lambda_1 = 3,4 \text{ meter}$

$k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi \cdot 100 \text{ Hz}}{340 \text{ m/s}} = 1,84/\text{m}$ $kr \gg 1$

$kr = 1,84/\text{m} \times 2 \text{ m} = 3,68$

untuk $f = 5000 \text{ Hz}$ $k = \frac{2\pi \cdot 5000 \text{ Hz}}{340 \text{ m/s}} = 92,4/\text{m}$

$kr = 92,4/\text{m} \times r = 3,68$

$r = \frac{4}{92,4} \text{ meter}$

$r = 4,33 \text{ cm}$
 $\lambda = 6,8 \text{ cm}$

$\lambda_1 = \frac{340 \text{ m/s}}{100 \text{ Hz}} = 3,4 \text{ meter}$

$\lambda_2 = \frac{340 \text{ m/s}}{5000 \text{ Hz}} = 0,068 \text{ meter}$

$\lambda_2 = 6,8 \text{ cm}$

$r = \frac{3,68}{92,4} \text{ meter}$

$r = 0,04 \text{ meter} = 4 \text{ centimeter}$

Intensity in a spherical wave

$\vec{I} = \frac{1}{4} (\vec{p}\vec{v}^* + \vec{p}^*\vec{v}) = \frac{1}{2} \text{Re}\{\vec{p}\vec{v}^*\}$

$I = \frac{|p|^2}{2Z_0} = \frac{\bar{p}^2}{Z_0}$ $Z_0 = \rho_0 \cdot c$

$I = \frac{\rho_0 \omega^2 \hat{Q}^2}{32\pi^2 cr^2}$

proporsional
 Intensity $\sim \frac{1}{\text{distance}^2}$
 sebanding

Total acoustic output power : Intensitas di satu titik dikalikan untuk seluruh luas permukaan sphere.

$P_r = 4\pi r^2 \cdot I = \frac{\rho_0 \omega^2 \hat{Q}^2}{8\pi c}$

luas permukaan sphere

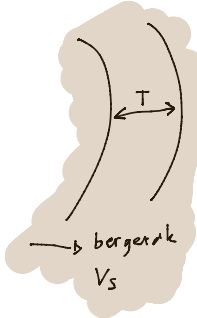
bentuk murni adalah idealisasi. tidak ditemukan di dunia nyata



dalam akustik, panjang gelombang menjadi batas ukuran. sangat kecil artinya terhadap panjang gelombang.

The Doppler Effect

Suara yang bergerak dan dianggap sebagai sumber titik akan tetap memiliki muka gelombang yang spherical, namun tidak konsentris. Melainkan tersusun secara asimetris.



T: periode antar maxima.

jika $\lambda = c \cdot T$

maka $\lambda' = (c - V_s)T$

$f' = \frac{c}{\lambda'}$

$f' = \frac{c}{(c - V_s)T} \cdot \frac{1}{T} = \frac{1}{(1 - V_s/c)T}$

$f' = \frac{1}{(1 - V_s/c)T}$ $\frac{1}{T} = f$

$f' = \frac{f}{1 - V_s/c}$



V_s : kecepatan gerak sumber bunyi
 c : kecepatan bunyi di medium

Sumber menjauh dari pengamat
 $V_s(-) \sim f' < f$

masih lanjutan dari Doppler Effect.

Jika $v_s > c$ maka menciptakan kerucut selubung yang aperture nya α .

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{c}{v_s}$$

$$v_s = c \rightarrow \sin \frac{\alpha}{2} = 1$$

$$\frac{\alpha}{2} = 90^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ$$

$$v_s = 1.5c$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{c}{1.5c}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{\alpha}{2} = 41.81^\circ$$

$$\alpha = 83.62^\circ$$

Bessel Function dari mathworld.wolfram.com

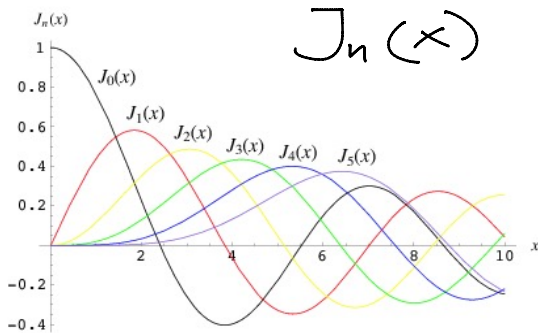
BF adalah solusi dari pers. diferensial berikut... BDF

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - n^2)y = 0$$

→ ada 3 solusi:

1. $J_n(x)$ of the 1st kind
2. $Y_n(x)$ of the 2nd kind
3. Hankel Func. H_n 3th kind

Bessel Function of The First Kind



$J_n(x)$ untuk $n = 0, 1, 2, \dots, 5$.

BDE → $J_n(x)$

* are non-singular at the origin
* are called cylinder func. or cylindrical harmonics.

Wikipedia

$$z^2 \frac{d^2 y}{dz^2} + z \frac{dy}{dz} + (z^2 - \alpha^2)y = 0$$

Cylindrical Coordinate Systems

- Bessel Functions of integer order ($\alpha = n$)

Spherical Coordinate Systems

- half-integer orders ($\alpha = n + \frac{1}{2}$)

WHY? Solving for patterns

of acoustical radiation

Frobenius Method to Bessel's Equation

$$J_\alpha(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{z}{2}\right)^{2m + \alpha}$$

$\Gamma(z)$ adalah fungsi gamma.

Grafik fungsi Bessel secara kasar tampak seperti sinus atau cosinus yang berosilasi yang meluruh secara proporsional untuk $\frac{1}{\sqrt{ze}}$.

Fungsi Bessel jenis pertama merupakan keseluruhan fungsi jika α merupakan integer.

Tetapi ia dianggap sebagai fungsi bernilai-banyak dengan singularitas pada 0.

Instrumentasi: Akustik

1 Maret 2017

R

Helmholtz Equation

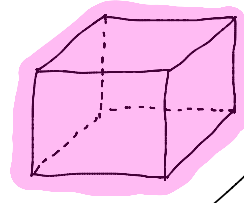
(∇² + k²) p(x) = 0 spasialnya aja.

Ingat, relasi pressure - particle velocity - impedance.

Z = P/u pada rigid boundary pressure bernilai maksimum dan particle velocity bernilai sama dengan nol.

konsekuensi impedance ~ ∞ infinity

Z = Pmax / 0

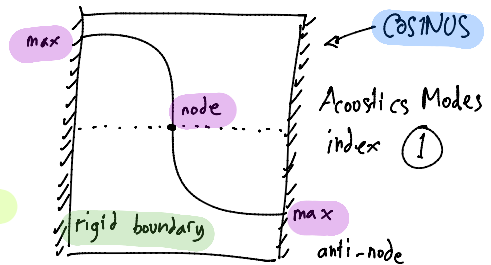


Rectangular Enclosure :

- 1 Rigid Bound.
2 Soft Bound.

Kondisi batas pada rigid boundary adalah sebagai berikut:

- 1 p = (max) Pa
2 u = 0 m/s



pressure di dekat batas space maksimum.

Acoustic Cavity selalu dalam konsep shoe-box.

Acoustic Modes

p(x) = An * cos(n1*pi*x1/L1) * cos(n2*pi*x2/L2) * cos(n3*pi*x3/L3)

ruang dalam tema akustik (inggris) lebih sering digunakan SPACE.

Natural Frequency

k² = k1² + k2² + k3²

* lambda adalah SKALAR.

* k --- VEKTOR.

wave number adalah VEKTOR

R

f_{n1,n2,n3} = c0 / 2pi * sqrt((n1*pi/L1)² + (n2*pi/L2)² + (n3*pi/L3)²) adalah frekuensi terjadinya acoustic modes.

Contoh: L1 = 10 meter indeks n1-n2-n3 = 1-0-0
L2 = 8 meter c0 = 344 m/s
L3 = 4 meter

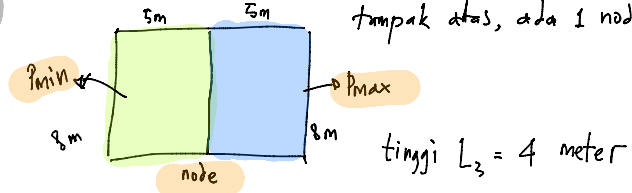
f_{1,0,0} = 344 m/s / 2pi * sqrt((1*pi/10)² + 0 + 0)

f_{1,0,0} ≈ 17,2 Hz

R

L merepresentasikan dimensi ruang terhadap koordinat sumbu x-y-z.

dengan indeks 1-0-0, ia bermakna terdapat 1 node pada arah sumbu L1 berada. tampak atas, ada 1 node.



tinggi L3 = 4 meter