

# Distribusi Medan Akustik dalam Domain Interior dengan Metode Elemen Batas (*Boundary Element Method*)

Tetti Novalina Manik dan Nurma Sari

**Abstrak:** Dalam analisis akustik, kasus yang paling umum adalah menentukan medan akustik/suara yang terjadi akibat sumber akustik yang bergetar (radiasi) atau medan suara yang terjadi ketika gelombang suara mengenai suatu penghalang (*scattering*) dalam domain eksterior atau interior. Hal ini dapat diselesaikan jika informasi mengenai kecepatan atau tekanan akustik di permukaan sumber akustik tersebut diketahui. Solusi untuk masalah ini tidak selalu dapat diperoleh secara analitik, apalagi jika permasalahan tersebut menyangkut bentuk-bentuk geometri yang tidak teratur. Dalam hal ini penyelesaian secara numerik merupakan suatu alternatif untuk mencari solusinya. Salah satu metode numerik yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah di atas adalah metode elemen batas (*Boundary Element Method*). Penelitian ini menyajikan formulasi metode elemen batas untuk mendapatkan distribusi medan akustik di sekitar sumber akustik dalam domain interior dengan metode elemen batas dan dapat disimpulkan bahwa penempatan dan jumlah sumber akustik/suara sangat mempengaruhi distribusi suara dalam domain interior serta pemberian bahan penyerap pada ruangan dapat meningkatkan tekanan suara dalam domain interior.

**Kata kunci:** akustik, medan suara, kecepatan, tekanan akustik, metoda elemen batas.

## PENDAHULUAN

Dalam mendisain ruangan ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, diantaranya kenyamanan visual dan nonvisual. Kenyamanan non visual diantaranya kenyamanan suhu dan akustik/bunyi. Kondisi bunyi di dalam ruang tertutup dipengaruhi oleh bunyi langsung, bunyi pantulan, bunyi yang diserap oleh lapisan permukaan, bunyi yang disebar, bunyi yang dibelokkan, bunyi yang ditransmisi, bunyi yang diabsorpsi oleh struktur bangunan, dan bunyi

yang merambat pada konstruksi atau struktur bangunan. Dalam ruangan, suara yang memantul akan mempengaruhi kejelasan suara. Terkadang pemantulan suara bisa meningkatkan intensitas suara dan membuat suara menjadi lebih jernih, tapi jika suara itu datang terlambat ke penerima, maka akan menimbulkan gema. Pemberian bahan penyerap pada dinding dan lantai ruangan juga mempengaruhi tingkat suara dalam ruangan tertutup. Hal ini banyak diterapkan dalam gedung-gedung pertemuan, bioskop dan

home teater<sup>[3]</sup>. Penelitian ini mempre-diksi distribusi akustik dalam ruangan atau dalam domain interior dengan metode elemen batas. Metode elemen batas merupakan salah satu metode numerik yang banyak digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah akustik karena metode ini mengurangi dimensi masalah sehingga mempercepat waktu komputasi<sup>[1]</sup>.

Suatu sumber bunyi akan meradiasikan gelombang suara pada medan akustik. Seseorang menerima suara berupa getaran pada gendang telinga dalam daerah frekuensi pendengaran manusia. Getaran tersebut dihasilkan dari sejumlah variasi tekanan udara yang dihasilkan oleh sumber bunyi dan dirambatkan ke medium sekitarnya, yang dikenal sebagai medan akustik. Variasi tekanan pada atmosfer disebut tekanan suara, dalam satuan Pascals (Pa). Informasi akustik berupa tekanan suara pada medan akustik tersebut dapat ditentukan dengan analisis akustik berdasarkan persamaan gelombang akustik<sup>[5]</sup>.

Pada dasarnya, masalah interior adalah menyelesaikan persamaan Helmholtz dalam daerah tertutup oleh permukaan S seperti Gambar 1. Dalam masalah ini hal-

hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi batas (tekanan, kecepatan normal, atau impedansi) pada permukaan S diekspresikan dengan persamaan 1.<sup>[1&2]</sup>

$$Ap + Bv = C \dots\dots\dots (1)$$

dimana p, v adalah tekanan akustik dan kecepatan partikel normal di S dan A, B, C adalah konstanta-konstanta yang nilainya harus spesifik dengan masing-masing node lokal pada masing-masing elemen dan gelombang akustik dalam B yang harus memenuhi persamaan diferensial Helmholtz.

$$(\nabla^2 - k^2)\phi = 0 \text{ di dalam B} \dots\dots (2)$$

Dengan menggunakan teorema Green kedua diperoleh:

$$\int_B (\psi \nabla^2 \phi - \phi \nabla^2 \psi) dV = \int_S (\psi \frac{\partial \phi}{\partial n} - \phi \frac{\partial \psi}{\partial n}) dS \dots\dots\dots (3)$$

dimana arah normal n keluar dari domain akustik, maka persamaan integral batas untuk kasus interior dapat diturunkan menjadi:

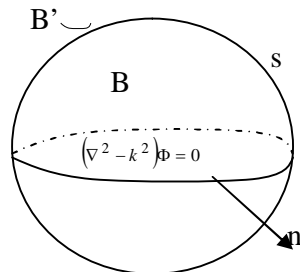
$$C^o(P)\phi(P) = \int_S [\psi(P,Q) \frac{\partial \phi}{\partial n}(Q) - \frac{\partial \psi}{\partial n}(P,Q)\phi(Q)] dS(Q) \dots\dots\dots (4)$$

$$\Psi(P,Q) = \frac{e^{-ikR(P,Q)}}{R(P,Q)} \text{ menyatakan}$$

fungsi Green untuk ruang bebas (*Free Space Green Function*),  $R(P,Q) = |P - Q|$ , dimana Q

merupakan suatu titik pada permukaan S, P merupakan suatu titik medan yang dapat berada di B.  $C^0(P)$  menyatakan konstanta geometris yang nilainya bergantung pada posisi titik P.  $C^0(P)$  bernilai  $4\pi$  untuk P berada di dalam B,  $2\pi$  untuk P yang mempunyai tangen unik (smooth) untuk setiap P pada permukaan S dan 0 untuk P berada pada B' (daerah diluar permukaan S).  $C^0(P)$  untuk P pada permukaan S yang tidak smooth (di ujung atau di tepi) dapat dievaluasi dengan:<sup>[2&4]</sup>

$$C^0(P) = \int_S \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{1}{R(P,Q)} \right) dS(Q) \dots (5)$$



**Gambar 1.** Skematika diagram masalah akustik interior<sup>[2]</sup>

Metoda elemen batas adalah metoda numerik yang digunakan untuk mengimplementasikan integral permukaan persamaan 4. Dalam metoda elemen batas hanya permukaan objek saja yang didiskritisasi ke dalam sejumlah elemen dan node. Permukaan objek

didiskritisasi menjadi elemen-elemen isoparametrik seperti Gambar 2, dimana bentuk permukaan sumber dan variabel akustik pada permukaan sumber direpresentasikan oleh fungsi-fungsi bentuk (interpolasi) orde dua.

Implementasi numerik dari persamaan 4 untuk kasus radiasi dimana titik medan suara P berada pada permukaan S dapat dituliskan dalam bentuk matriks<sup>[5]</sup>:

$$[A] \{\phi\} = [B] \{\phi'\} \dots \dots \dots (7)$$

Untuk titik P terletak di dalam S atau daerah B

$$[C] \{\phi\} + [D] \{\phi'\} = \{pfp\} \dots \dots \dots (8)$$

dimana  $\{\phi\}$  dan  $\{\phi'\}$  adalah vektor potensial kecepatan dan kecepatan arah normal n pada tiap node, Matriks [A] dan [B] adalah matriks berukuran NxN, [C] dan [D] adalah matriks koefisien  $NFP \times N$  dan  $\{pfp\} = 4\pi \phi_j(P)$ ,  $\phi_j(P)$  adalah nilai tekanan akustik di titik ukur P.

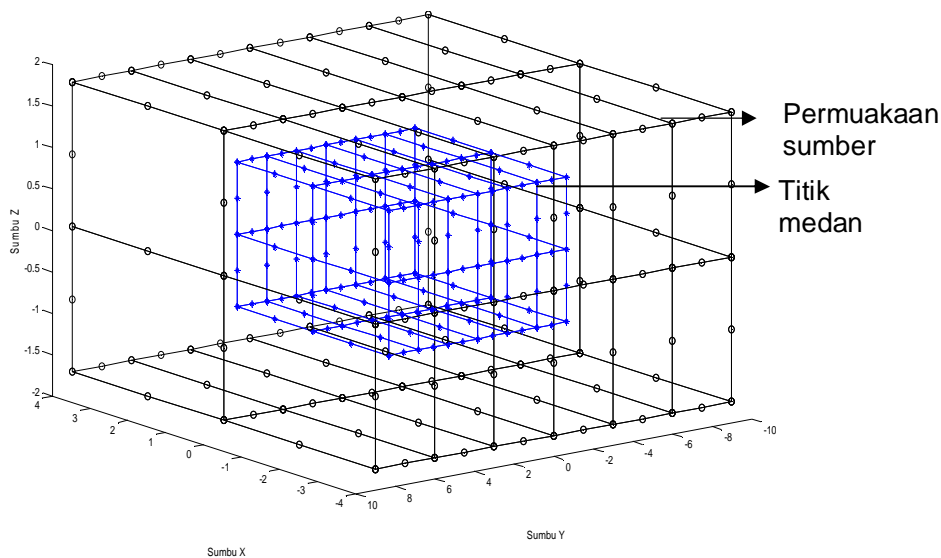
**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan penelitian pemodelan dan komputasi. Penelitian ini hanya membahas masalah akustik linear. Masalah yang dibahas juga tidak melibatkan noise pada titik-titik medan dan khusus untuk masalah radiasi.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu menentukan bentuk/objek dari sumber akustik yang akan dimodelkan, diskritisasi seluruh permukaan sumber akustik, menentukan node atau koordinat node untuk setiap elemen, identifikasi parameter dan formulasi matematik, pembuatan program metode elemen batas untuk menentukan distribusi akustik kasus interior, pengujian program, uji kasus dan visualisasi.

Bentuk sumber akustik yang dibahas pada persoalan ini adalah bentuk persegi panjang berukuran 8 x 9 x 3.5 meter. Tiga karakteristik akustik ruang yang ditinjau yaitu karakteristik interior ruang jika sumber akustik berada diseluruh permukaan

objek, sumber akustik disebagian kecil permukaan sumber dan jika salah satu sisi sumber akustik diberi bahan penyerap. Gambar 2 menunjukkan bentuk dan diskritisasi permukaan dan medan akustik dalam elemen dan node. Titik medan berada di tengah-tengah benda persegi dengan ukuran (4,5 x 1,75 x 2) m<sup>3</sup>. Ukuran elemen mempengaruhi keakuratan metode ini, namun ukurannya tidak boleh terlalu kecil karena mempengaruhi waktu komputasi, yang terpenting adalah elemen-elemen tersebut dapat merepresentasikan distribusi getaran permukaan *body* yang dimodelkan. Penelitian ini permukaan objek didiskritisasi menjadi 56 elemen segi empat dan 170 node.

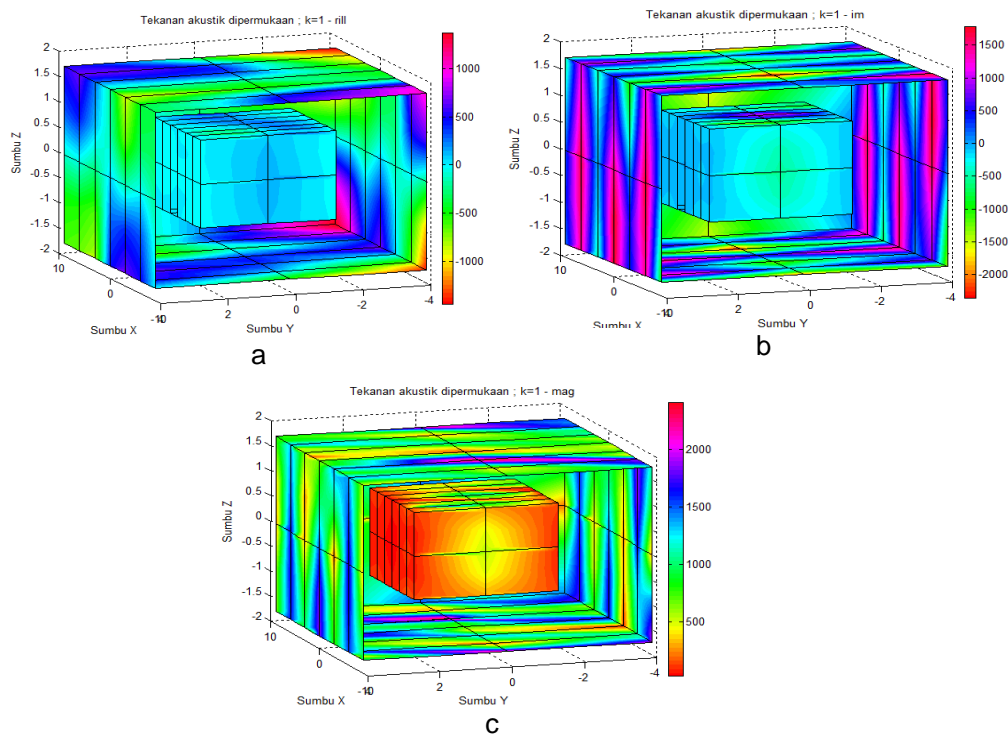


**Gambar 2.** Diskritisasi permukaan dan medan akustik menjadi elemen dan node

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji kasus formulasi *interior* metode elemen batas dari radiasi gelombang akustik ditunjukkan pada Gambar 3 yang menggambarkan distribusi tekanan akustik pada titik medan di dalam kotak persegi akibat keseluruhan permukaan kotak bergetar dengan

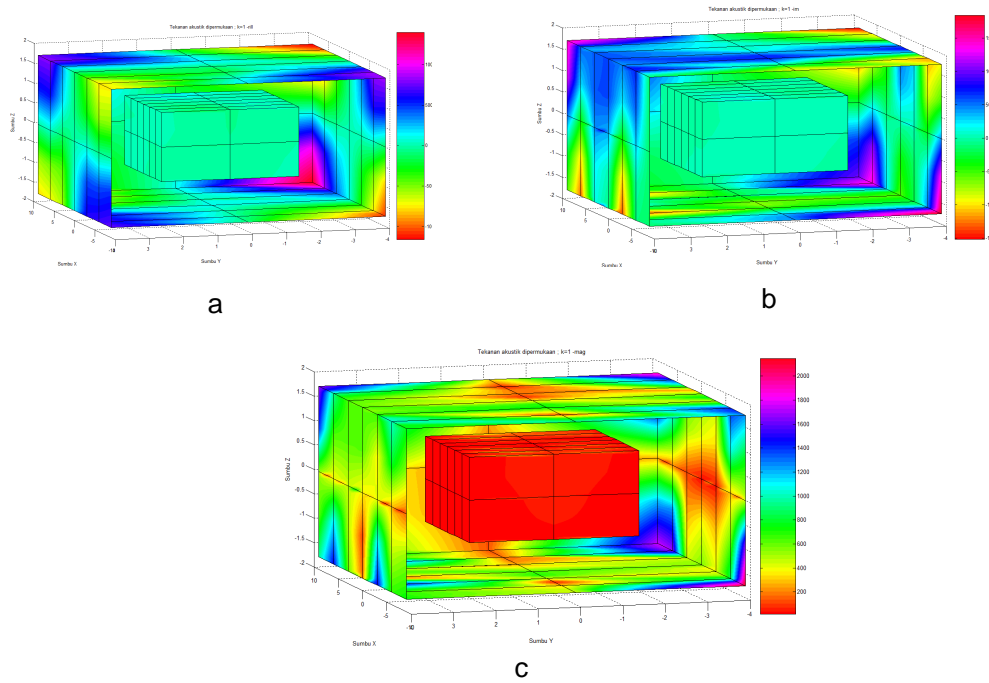
kecepatan partikel  $v = -1$  m/s dan konstanta gelombang  $k = 1/m$  atau pada frekuensi 54,59 Hz. Gambar ini terlihat jika permukaan seluruh objek persegi diberi sumber suara maka suara di titik medan tersebar hampir merata (lihat gambar persegi dalam kotak) yang berada pada range 7.8636-1660.46 Pa.



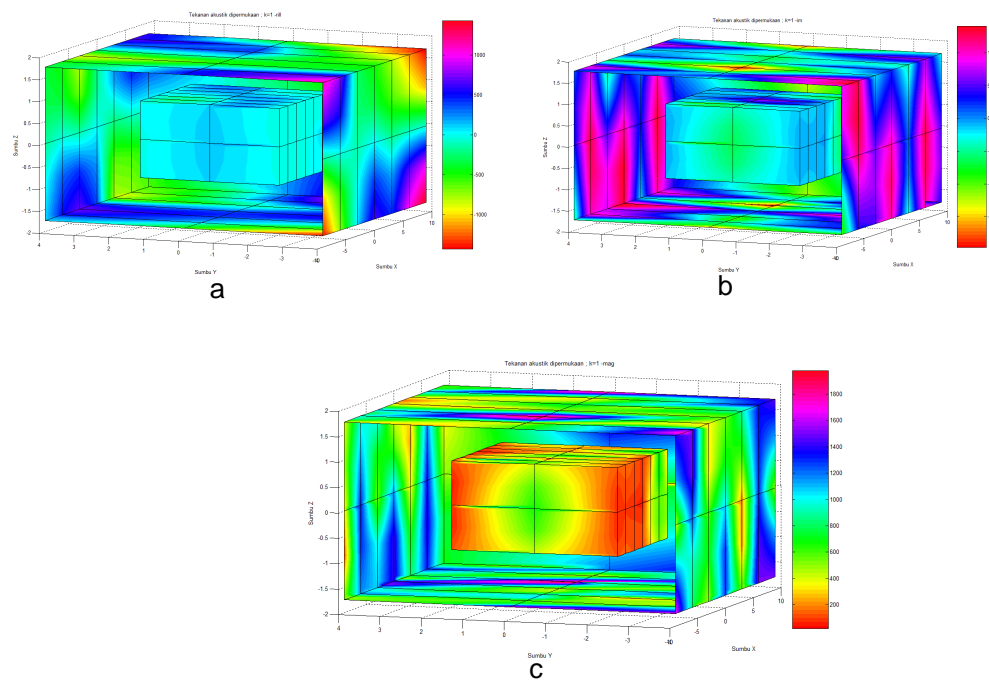
**Gambar 3.** Visualisasi tekanan akustik pada titik medan jika permukaan objek bergetar seluruhnya. a. bagian rill, b. bagian imajiner dan c. bagian magnituda

Gambar 4. menggambarkan distribusi tekanan akustik pada titik medan di dalam kotak persegi akibat sebagian permukaan kotak bergetar dengan kecepatan partikel  $v = -1$  m/s dan konstanta gelombang  $k =$

$1/m$  atau pada frekuensi 54,59 Hz. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa tekanan akustik pada titik medan bagian magnituda berada pada range 0.4977- 443.000 Pa.



**Gambar 4.** Visualisasi tekanan akustik pada titik medan jika permukaan objek bergetar sebagian kecil. a. bagian rill, b. bagian imajiner dan c. bagian magnituda



**Gambar 5.** Visualisasi tekanan akustik pada titik medan jika tiga sisi permukaan objek bergetar dan satu sisi diberi bahan penyerap. a. bagian rill, b. bagian imajiner dan c. bagian magnituda

Gambar 4 menggambarkan distribusi tekanan akustik pada titik medan di dalam kotak persegi akibat tiga permukaan objek persegi bergetar dengan kecepatan partikel  $v = -1$  m/s dan konstanta gelombang  $k = 1/m$  atau pada frekuensi 54,59 Hz dan satu bagian sisi diberi bahan penyerap dengan impedansi  $z = 207.5$  (dari gambar sisi yang diberi bahan penyerap adalah bagian belakang). Dari hasil tersebut dapat diketahui tekanan akustik pada titik medan bagian magnituda berada pada range 4.36585 - 1261.227 Pa. dari gambar 3 dan 4 dapat disimpulkan, bahwa dengan memberi bahan penyerap pada salah satu bagian sisi dapat meningkatkan tekanan suara dalam ruangan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan visualisasi distribusi medan akustik dalam domain interior dengan metode elemen batas (*boundary element method*) dapat disimpulkan bahwa penempatan dan jumlah sumber akustik/suara sangat mempengaruhi distribusi suara dalam domain interior dan pemberian bahan penyerap pada

ruangan dapat meningkatkan tekanan suara dalam domain interior.

### Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan perlakuan yang sama untuk disain ruangan yang berbeda atau disain yang sama untuk perlakuan yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. E Seybert, T. W. Wu, and X. E Wu, 1994, *Experimental Validation of Finite Element and Boundary Element Methods for Predicting Structural Vibration and Radiated Noise*, Lexington, Kentucky
- [2] B. Soenarko, 1983 "An advanced boundary element formulation for acoustic radiation and scattering in three dimensions", Ph.D. dissertation, Dept. of Mech. Eng., University of Kentucky
- [3] Joko Sarwono, 2008, Fenomena Akustik dalam Ruang Tertutup, <http://dosen.tf.itb.ac.id/jsarwono/2008/04/12>
- [4] T. W. Wu, 2000, *Boundary Element Acoustics, Fundamental and computer codes*, WIT Pres, University of Kentucky, USA.
- [5] Ratnadewi, 2006, Solusi inverse akustik dengan metode elemen batas untuk menentukan karakteristik sumber, Disertasi, ITB, Bandung