

**PERHITUNGAN PARAMETER GELOMBANG SUARA
UNTUK SUMBER BERBENTUK SEMBARANG
MENGUNAKAN METODA ELEMEN BATAS
DENGAN PROGRAM MATLAB**

Garry Paulin Setiawan

Email : garrypsetiawan@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH 65

Bandung 40164, Indonesia

ABSTRAK

Metoda Elemen Batas telah digunakan untuk memecahkan berbagai masalah pada bidang akustik, seperti pada industri otomotif yang melibatkan radiasi suara dari mesin yang bergetar, prediksi medan akustik pada interior ruang kendaraan, medan akustik pada rongga *muffler*, dan sebagainya. Keunggulan dari Metoda Elemen Batas adalah penurunan dimensi persoalan yang dihadapi. Persoalan dimensi tiga yang melibatkan volume diperlakukan seperti persoalan dua dimensi yang hanya melibatkan permukaan benda.

Pada tugas akhir ini dibuat program dengan MATLAB untuk menghitung nilai parameter gelombang suara yang melibatkan benda berbentuk sembarang dengan menggunakan Metoda Elemen Batas. Parameter akustik yang terlibat adalah kecepatan potensial dan kecepatan partikel. Program dibuat untuk penyelesaian masalah radiasi dan penghamburan gelombang suara dari sumber yang bergetar serta masalah invers untuk menentukan parameter akustik pada sumber berdasarkan informasi akustik di titik-titik medan. Di samping itu program yang dibuat juga melibatkan kasus ruang setengah tak berhingga untuk radiasi dan penghamburan gelombang suara dari sumber yang bergetar. Program dibuat berdasarkan program FORTRAN yang sudah ada. Uji kasus yang

dilakukan meliputi masalah radiasi dan penghamburan dengan melibatkan beberapa bentuk geometri sumber benda (bola, kubus, silinder).

Hasil uji kasus menunjukkan kesesuaian antara hasil dari program MATLAB dengan hasil dari program FORTRAN. Program MATLAB juga menyajikan pembuatan grafik secara langsung dari hasil perhitungan program (output) yaitu pembuatan pola radiasi tekanan dan distribusi tekanan pada permukaan benda atau di titik-titik medan yang dikehendaki.

Kata Kunci : Metoda Elemen Batas, radiasi, penghamburan, akustik

**CALCULATION OF ACOUSTIC PARAMETERS
INVOLVING BODIES OF ARBITRARY SHAPE
USING BOUNDARY ELEMENT METHOD
WITH MATLAB PROGRAM**

Garry Paulin Setiawan

Email : garrypsetiawan@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Prof. drg. Suria Sumantri, MPH 65

Bandung 40164, Indonesia

ABSTRACT

Boundary Element Method (BEM) has been used to solve various problems in acoustics, such as in automotive industry involving sound radiation from vibrating engines, the prediction of acoustic field on the vehicle interior space, the acoustic field in the cavity of muffler, and so forth. The advantage of BEM is the reduction of the dimension of the problems. Three-dimensional problems involving volume is treated as two-dimensional problems which involves only the surface of the body.

In this project, a program was made in MATLAB code to calculate the acoustic parameters involving bodies of arbitrary shape using Boundary Element Method. The acoustic parameters involved are velocity potential and particle velocity. The program was made for solving problems involving radiation and scattering of acoustic waves from vibrating bodies and inverse problems to determine the acoustic parameters on the body based on the acoustic information in the field points. In addition the program also handles half space problems for radiation and scattering of acoustic waves from vibrating bodies. The program was developed based on an existing FORTRAN program. Test cases including radiation and scattering problems involving some shapes of the bodies were conducted (sphere, cube, cylinder).

Good agreement was obtained between the MATLAB program calculation and those yield by the FORTRAN program calculation. MATLAB also provides post processing for plotting the result of the calculation such as the radiation pattern of pressure and pressure distribution on the surface of bodies or on the desired field points.

Key Words: Boundary Element Method, radiation, scattering, acoustic

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Tujuan	1
1.4 Batasan Masalah	1
1.5 Spesifikasi Alat Yang Digunakan.....	1
1.6 Sistematika Pembahasan.....	2

BAB II. LANDASAN TEORI

2.1 Teori Akustik Dasar.....	5
2.2 Formulasi Metoda Elemen Batas.....	6
2.3 Persamaan Integral Helmholtz pada Penghamburan Gelombang Akustik	8
2.4 Persamaan Integral Helmholtz untuk Ruang Setengah Tak Berhingga (Half Space).....	9

2.5 Metode CHIEF (Combined Helmholtz Integral Equation Formulation)	10
2.6 Diskritisasi Permukaan dengan Elemen Isoparametrik	11
2.7 Implementasi Numerik	13
2.8 Solusi Persamaan Matriks	14
2.9 MATLAB VS FORTRAN	17

BAB III. ALUR KERJA PROGRAM DAN DISKRITISASI PERMUKAAN

3.1 Alur Kerja Program Direct BEM	19
3.2 Alur Kerja Program Inverse BEM	20
3.3 Alur Kerja Program Halfspace BEM	22
3.4 Diskritisasi Permukaan	22
3.4.1 Diskritisasi permukaan bola	22
3.4.2 Diskritisasi permukaan kubus	23
3.4.3 Diskritisasi permukaan silinder	24

BAB IV. UJI KASUS

4.1 Bola Bergetar Homogen	26
4.2 Bola Berosilasi	27
4.3 Penghamburan Gelombang Bidang pada Bola Keras	29
4.4 Radiasi Kubus Bergetar	31
4.5 Radiasi Silinder Bergetar	32
4.6 Radiasi Bola Bergetar Homogen dengan Kehadiran Bola Diam di Dekatnya	34

4.7 Radiasi Bola Bergetar Homogen dengan Kehadiran Kubus Diam.....	42
4.8 Radiasi Silinder Bergetar Homogen dengan Kehadiran Silinder Diam	47
4.9 Radiasi Kubus Bergetar pada Salah Satu Sisinya.....	51
4.10 Kasus Radiasi dari Dua Bola Bergetar Homogen.....	53
4.11 Kasus Radiasi Bola Homogen pada Ruang Setengah Tak Hingga (Half Space).....	55
4.12 Kasus Penghamburan Gelombang Bidang Terhadap Bola Keras pada Ruang Setengah Tak Hingga (Half Space).....	57
4.13 Pola Radiasi Kubus Bergetar pada Ruang Setengah Tak Hingga (Half Space)	59
4.14 Kasus Silinder Bergetar pada Ruang Setengah Tak Hingga (Halfspace)	60
4.15 Kasus Inversi Bola Bergetar Homogen	61
4.16 Kasus Inversi Bola Berosilasi.....	62
4.17 Kasus Inversi untuk Penghamburan Gelombang Bidang pada Bola Keras.....	63
4.18 Kasus Inversi pada Kubus Bergetar.....	64
4.19 Kasus Inversi untuk Penghamburan pada Kubus Diam	65
4.20 Kasus Inversi untuk Bola Bergetar Homogen dan Bola Diam.....	65
4.21 Kasus Inversi pada Dua Kubus Bergetar	66

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Lampiran AA-1

Lampiran BB-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi kasus eksterior (kiri) dan kasus interior (kanan)	7
Gambar 2.2 Ilustrasi kasus penghamburan gelombang akustik	8
Gambar 2.3. Ilustrasi kasus akustik pada ruang setengah tak berhingga	9
Gambar 2.4 Elemen isoparametrik dan koordinat lokal tiap node	11
Gambar 3.1. Alur kerja program direct BEM	19
Gambar 3.2. Alur kerja program inverse BEM	21
Gambar 3.3. Diskritisasi permukaan bola	23
Gambar 3.4. Diskritisasi permukaan kubus	23
Gambar 3.5. Diskritisasi permukaan silinder	24
Gambar 4.1. Konfigurasi bola bergetar homogen	26
Gambar 4.2. Pola radiasi kecepatan potensial bola bergetar homogen pada penampang bidang yz , $R=1$, $r=2$, untuk (a) $k=1$, (b) $k= 3.14159$	27
Gambar 4.3. Konfigurasi bola beresilasi	28
Gambar 4.4. Pola radiasi kecepatan potensial bola beresilasi pada penampang bidang yz , $k=1$ dan $r=2$	28
Gambar 4.5. Konfigurasi penghamburan gelombang bidang pada bola keras (<i>rigid</i>) yang diam	29
Gambar 4.6. Pola radiasi kecepatan potensial penghamburan gelombang bidang pada bola diam pada penampang bidang xz , $r=5$ untuk (a) $k=1$ dan (b) $k=0.1$	30

Gambar 4.7. Pola radiasi kecepatan potensial penghamburan gelombang bidang pada bola diam pada penampang bidang xz, $r=5$ untuk (a) $k=2$ dan (b) $k=3.14159$	30
Gambar 4.8. Pola radiasi kecepatan potensial penghamburan gelombang bidang pada bola diam pada penampang bidang xz dengan 354 node pada $r=5$ untuk (a) $k=2$ dan (b) $k=3.14159$	31
Gambar 4.9 Tekanan pada permukaan kubus bergetar untuk $k=1$	32
Gambar 4.10 Konfigurasi silinder bergetar.....	33
Gambar 4.11. Pola radiasi kecepatan potensial dari silinder bergetar pada penampang bidang yz, $r=3$ untuk (a) $k=1$ dan (b) $k=2$	33
Gambar 4.12. Konfigurasi bola bergetar homogen dengan kehadiran bola diam.	34
Gambar 4.13. Ilustrasi uji kasus bola bergetar dengan kehadiran bola diam dengan (a) jari-jari kedua bola sama ($R_1=R_2=1$), (b) jari-jari bola kedua lebih kecil ($R_2=0.5, R_1=1$), (c) jari-jari bola kedua lebih besar ($R_2=2, R_1=1$)	35
Gambar 4.14. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $r=2$, $R_1=R_2=1$, $k=1$, untuk jarak (a) $d=3$, (b) $d=4$ (c) $d=5$ (d) $d=6$	36
Gambar 4.15. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $r=2$, $R_1=1, R_2=2$ $k=1$, untuk jarak (a) $d=3$, (b) $d=5$ (c) $d=6$ (d) $d=7$	37
Gambar 4.16. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $r=2$, $R_1=1, R_2=0.5$ $k=1$, untuk jarak (a) $d=3$, (b) $d=4$	38

- Gambar 4.17. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=1, k=1$, jarak $d=3$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.75$, (b) $r=1.5$, (c) $r=1.25$... 39
- Gambar 4.18. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=1, k=1$, jarak $d=2.5$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.75$, (b) $r=1.5$, (c) $r=1.25$ 39
- Gambar 4.19. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=2, k=1$, jarak $d=3$, untuk jarak titik ukur (a) $r=2$, (b) $r=1.5$, (c) $r=1.25$ 40
- Gambar 4.20. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=2, k=1$, jarak $d=2.5$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.5$, (b) $r=1.25$ 40
- Gambar 4.21. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=0.5, k=1$, jarak $d=3$, untuk jarak titik ukur (a) $r=2$, (b) $r=1.5$ 41
- Gambar 4.22. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran bola diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, R_2=2, k=1$, jarak $d=2.5$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.5$, (b) $r=1.25$ 41
- Gambar 4.23. Konfigurasi bola bergetar dengan kehadiran kubus diam 42
- Gambar 4.24. Ilustrasi uji kasus bola bergetar dengan kehadiran kubus diam untuk jari-jari bola pertama (a) $R_1=1$, (b) $R_1=2$, (c) $R_1=0.5$ 43
- Gambar 4.25. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=1, k=1$, jarak titik ukur $r=2$, untuk jarak kedua benda (a) $d=3$, (b) $d=5$, (c) $d=7$... 44

Gambar 4.26. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=2$, $k=1$, jarak titik ukur $r=3$, untuk jarak kedua benda (a) $d=4$, (b) $d=5$, (c) $d=6$...	44
Gambar 4.27. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=0.5$, $k=1$, jarak titik ukur $r=1.5$, untuk jarak kedua benda (a) $d=4$, (b) $d=6$, (c) $d=7$	45
Gambar 4.28. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=1$, $k=1$, jarak kedua benda $d=3$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.75$, (b) $r=1.5$, (c) $r=1.25$	46
Gambar 4.29. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=2$, $k=1$, jarak kedua benda $d=4$, untuk jarak titik ukur (a) $r=3$, (b) $r=2.75$, (c) $r=2.25$	46
Gambar 4.30. Pola radiasi kecepatan potensial dari bola bergetar dengan kehadiran kubus diam pada penampang bidang yz, $R_1=0.5$, $k=1$, jarak kedua benda $d=2.5$, untuk jarak titik ukur (a) $r=1.5$, (b) $r=1$, (c) $r=0.75$	47
Gambar 4.31. Konfigurasi silinder bergetar homogen (silinder 1) dan silinder diam (silinder 2).....	47
Gambar 4.32. Ilustrasi uji kasus silinder dengan kehadiran silinder kedua yang diam dengan (a) besar kedua silinder sama, (b) silinder kedua lebih besar, (c) silinder kedua lebih kecil	48

Gambar 4.33. Pola radiasi kecepatan potensial dari silinder bergetar dengan kehadiran silinder diam pada penampang bidang yz, $R_1=R_2=2$, $L_1=L_2=4$, $k=1$, jarak titik ukur $r=3$, untuk jarak kedua benda (a) $d=4$, (b) $d=7$, (c) $d=9$	49
Gambar 4.34. Pola radiasi kecepatan potensial dari silinder bergetar dengan kehadiran silinder diam pada penampang bidang yz, $R_1=2, R_2=4$, $L_1=4, L_2=8$, $k=1$, jarak titik ukur $r=3$, untuk jarak kedua benda (a) $d=7$, (b) $d=9$, (c) $d=12$	50
Gambar 4.35. Pola radiasi kecepatan potensial dari silinder bergetar dengan kehadiran silinder diam pada penampang bidang yz, $R_1=2, R_2=1$, $L_1=4, L_2=2$, $k=1$, jarak titik ukur $r=3$, untuk jarak kedua benda (a) $d=4$, (b) $d=5$, (c) $d=6$	50
Gambar 4.36. Ilustrasi kubus yang bergetar pada salah satu sisinya dengan sisi yang bergetar adalah sisi yang diarsir.....	51
Gambar 4.37. Pola radiasi kecepatan potensial dari kubus bergetar satu sisi untuk penampang (a) bidang xy, (b) bidang xz, (c) bidang yz	51
Gambar 4.38. Pola radiasi kecepatan potensial dari kubus bergetar dua sisi untuk penampang (a) bidang xy, (b) bidang xz, (c) bidang yz	52
Gambar 4.39. Pola radiasi kecepatan potensial dari kubus bergetar tiga sisi untuk penampang (a) bidang xy, (b) bidang xz, (c) bidang yz	52
Gambar 4.40. Pola radiasi kecepatan potensial dari kubus bergetar empat sisi untuk penampang (a) bidang xy, (b) bidang xz, (c) bidang yz	52
Gambar 4.41. Pola radiasi kecepatan potensial dari kubus bergetar lima sisi untuk penampang (a) bidang xy, (b) bidang xz, (c) bidang yz	53

Gambar 4.42. Konfigurasi dua bola bergetar homogen	53
Gambar 4.43. Pola radiasi kecepatan potensial dari dua bola bergetar homogen pada penampang bidang yz, $R_1=R_2=1$, $k=1$, $r=2$, untuk jarak (a) $d=3$, (b) $d=4$, (c) $d=5$	54
Gambar 4.44. Grafik nilai tekanan terhadap posisi titik y untuk $x=0, z=0$, pada kasus dua bola bergetar homogen, $R_1=R_2=1$, $d=12$	54
Gambar 4.45. Konfigurasi bola bergetar homogen pada Halfspace	55
Gambar 4.46. Pola radiasi kecepatan potensial dari radiasi bola bergetar homogen pada Halfspace untuk penampang bidang yz, $B=3$, $k=1$, untuk (a) $r=2$, (b) $r=3$	56
Gambar 4.47. Pola radiasi kecepatan potensial dari radiasi bola bergetar homogen pada Halfspace untuk penampang bidang yz, $k=1$, $r=2$, untuk (a) $B=10$, (b) $B=30$, (c) $B=50$	56
Gambar 4.48. Konfigurasi penghamburan gelombang bidang terhadap bola keras pada Halfspace	57
Gambar 4.49. Pola radiasi kecepatan potensial dari penghamburan gelombang bidang terhadap bola keras (rigid) pada Halfspace untuk penampang bidang xz, $B=3$, $k=1$, untuk (a) $r=2$, (b) $r=3$	58
Gambar 4.50. Pola radiasi kecepatan potensial dari penghamburan gelombang bidang terhadap bola keras (rigid) pada Halfspace untuk penampang bidang xz, $B=30$, $r=5$, untuk (a) $k=1$, (b) $k=0.1$	58
Gambar 4.51. Konfigurasi kubus bergetar pada Halfspace.....	59

Gambar 4.52. Pola radiasi kecepatan potensial dari radiasi kubus bergetar pada Halfspace untuk penampang bidang yz, $k=1$, $r=2$, untuk (a) $B=2$, (b) $B=10$, (c) $B=30$	59
Gambar 4.53. Konfigurasi silinder bergetar pada Halfspace	60
Gambar 4.54. Pola radiasi kecepatan potensial dari radiasi silinder bergetar pada Halfspace untuk penampang bidang yz, $k=1$, $r=3$, untuk (a) $B=4$, (b) $B=10$, (c) $B=50$	60
Gambar 4.55. Pola radiasi kecepatan potensial dari radiasi silinder bergetar pada Halfspace untuk penampang bidang yz, $k=2$, $r=3$, untuk (a) $B=4$, (b) $B=10$, (c) $B=50$	61
Gambar 4.56. Distribusi kecepatan potensial pada sumber bola yang bergetar homogen $k=1$	62
Gambar 4.57. Distribusi kecepatan potensial pada sumber bola yang bergetar homogen $k=3.14159$	62
Gambar 4.58. Distribusi kecepatan potensial pada sumber bola yang berosilasi $k=1$	63
Gambar 4.59. Distribusi kecepatan potensial pada bola untuk kasus penghamburan gelombang bidang terhadap bola keras, $k=1$	64
Gambar 4.60. Distribusi kecepatan potensial pada kubus bergetar $k=1$	64
Gambar 4.61. Distribusi kecepatan potensial pada kubus untuk kasus penghamburan, $k=1$	65
Gambar 4.62. Distribusi kecepatan potensial pada bola untuk kasus bola bergetar dan diam, $k=1$	66

Gambar 4.63. Distribusi kecepatan potensial pada kasus dua kubus bergetar, $k=1$

..... 66