



### **Hak cipta dan penggunaan kembali:**

Lisensi ini mengizinkan setiap orang untuk menggubah, memperbaiki, dan membuat ciptaan turunan bukan untuk kepentingan komersial, selama anda mencantumkan nama penulis dan melisensikan ciptaan turunan dengan syarat yang serupa dengan ciptaan asli.

### **Copyright and reuse:**

This license lets you remix, tweak, and build upon work non-commercially, as long as you credit the origin creator and license it on your new creations under the identical terms.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Pada penelitian ini terdapat dua bagian, yaitu menggunakan pendekatan objektif pada penghitungan nilai HRIR dengan interpolasi dan pendekatan subjektif pada percobaan hasil reproduksi suara yang sudah diproses menggunakan HRIR Filter.

Penghitungan interpolasi dilakukan menggunakan Matlab R2013b yang selanjutnya akan diubah ke dalam nilai 16-bit fixed point untuk diimplementasikan kedalam DSP Board. Pengembangan program sendiri akan dilakukan melalui Code Composer Studio v4.2.4 yang disediakan dari DSP Board.

#### **3.2 Peralatan yang digunakan**

Peralatan yang digunakan meliputi perangkat keras dan perangkat lunak pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

1. PC dengan spesifikasi:
  - a. Processor i7 2600k @3.4GHz
  - b. RAM 16GB
  - c. SSD 120GB + Harddisk 3TB
  - d. Sistem Operasi Windows 7 SP1 64 bit
  - e. Matlab R2013b 8.2.0.701

- f. Code Composer Studio v4.2.4.00033
  - g. Microsoft Excel 2010
2. Texas Instrument DSP Board TMS320C5535 eZdsp™ USB Kit dengan DSP processor TMS320C5535 16-bit fixed point.
  3. CIPIC HRTF Database
  4. Headphone ISK AT2000
  5. In-ear Monitor Monoprice 8320
  6. Kabel Auxilliary

### 3.3 Pengembangan Penelitian

Penelitian ini dibagi kedalam beberapa tahap yaitu:

#### 3.3.1 Pengukuran anthropometry subjek penelitian

Pada penelitian ini ada 3 subjek yang masing-masing diukur bagian tubuhnya pada bagian yang mudah diukur dan cukup signifikan dalam penentuan subjek dengan nilai *Euclidean distance* paling kecil, yang dihitung menggunakan persamaan (3.1).

$$d(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \dots + (x_n - y_n)^2} \dots (3.1)$$

Pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Pengukuran Anthropometry Subjek A

Pengukuran	Subjek A (dalam cm)
x1	16.6
x2	23.1
x3	19.8
x6	10.5
x14	178
x16	57.1

d5l	5.7
d6l	3.5
d5r	5.8
d6r	3.5

Tabel 3.2 Pengukuran Anthropometry Subjek D

Pengukuran	Subjek D (dalam cm)
x1	14.8
x2	22.2
x3	19.1
x6	9.6
x14	166
x16	55.2
d5l	6
d6l	2.9
d5r	6.1
d6r	3.2

Tabel 3.3 Pengukuran Anthropometry Subjek F

Pengukuran	Subjek F (dalam cm)
x1	17.6
x2	23.8
x3	19.5
x6	14.2
x14	169
x16	59.5
d5l	7
d6l	3.2
d5r	6.8
d6r	3.5

Tabel 3.4 Pengukuran Anthropometry Subjek HSF

Pengukuran	Subjek HSF (dalam cm)
x1	16.4
x2	23.2
x3	19
x6	12.3
x14	161
x16	58.2
d5l	6.8
d6l	2.8
d5r	6.8
d6r	2.9

Tabel 3.5 Pengukuran Anthropometry Subjek LJS

Pengukuran	Subjek LJS (dalam cm)
x1	15.5
x2	19.2
x3	16
x6	9.2
x14	158
x16	51
d5l	6
d6l	2.5
d5r	6.7
d6r	2.8

Tabel 3.6 Pengukuran Anthropometry Subjek AL

Pengukuran	Subjek AL (dalam cm)
x1	16
x2	23.2
x3	18.9

x6	11.5
x14	167
x16	56.5
d5l	6.8
d6l	3.4
d5r	6.8
d6r	3.5

Tabel 3.7 Pengukuran Anthropometry pada Subjek DCL

Pengukuran	Subjek DCL (dalam cm)
x1	15.9
x2	22.1
x3	16.8
x6	11.8
x14	145
x16	54.5
d5l	6.2
d6l	3.2
d5r	6.3
d6r	2.9

Pada Tabel 3.8 dapat dilihat hasil dari penghitungan Euclidean distance dari setiap subjek pada database dan 3 subjek pada penelitian ini.

Tabel 3.8 Eucledian Distance dari subjek penelitian dan subjek pada database

Subjek pada database	Jarak dengan subjek A	Jarak dengan subjek D	Jarak dengan subjek F	Jarak dengan subjek HSF	Jarak dengan subjek LJS	Jarak dengan subjek AL	Jarak dengan subjek DCL
003	4.261	5.514	4.990	4.127	9.843	4.439	4.127
010	5.387	4.428	7.216	5.019	8.012	4.898	5.019
018	7.987	5.254	11.521	9.090	3.319	7.394	9.090
020	4.871	6.484	4.334	3.519	11.217	4.903	3.519
021	4.059	2.931	6.522	4.219	7.458	3.600	4.219
027	4.007	5.214	4.690	3.118	10.716	4.130	3.118

028	2.977	4.900	3.930	2.353	10.350	3.028	2.353
033	3.663	4.283	4.985	3.204	9.500	3.303	3.204
040	5.738	3.116	8.976	6.352	5.453	5.057	6.352
044	6.724	7.884	5.636	5.456	12.082	6.604	5.456
048	4.296	3.143	6.900	4.526	7.154	3.992	4.526
050	8.497	10.329	6.514	7.073	15.305	8.715	7.073
051	4.131	4.936	5.552	4.024	10.625	4.530	4.024
058	3.637	4.187	5.011	3.224	9.443	3.460	3.224
059	4.280	3.715	6.159	4.333	8.177	3.416	4.333
060	4.973	3.092	7.679	5.508	5.495	4.180	5.508
061	4.116	2.445	6.916	4.381	5.921	3.461	4.381
065	3.766	4.722	4.763	3.167	9.911	3.847	3.167
119	4.850	3.358	7.539	5.401	5.985	4.344	5.401
124	3.265	3.097	5.538	3.283	7.409	2.743	3.283
126	7.388	4.458	10.904	8.419	3.961	6.848	8.419
127	3.784	4.322	4.887	3.160	8.932	3.613	3.160
131	4.183	3.203	6.583	4.421	7.259	3.979	4.421
133	4.439	3.836	6.262	4.234	7.647	3.953	4.234
134	4.609	5.557	5.515	4.415	10.769	5.007	4.415
135	4.809	4.082	6.752	4.938	8.445	4.533	4.938
137	3.300	3.565	4.908	2.918	8.235	2.838	2.918
147	4.648	5.172	5.299	4.008	9.872	4.424	4.008
148	5.543	3.582	8.618	6.321	5.624	5.342	6.321
152	2.495	3.205	4.568	2.355	8.336	2.190	2.355
153	3.413	3.894	5.080	3.029	9.478	3.181	3.029
154	2.221	2.762	4.862	2.191	7.693	1.945	2.191
155	3.279	1.608	6.857	4.472	6.637	2.977	4.472
156	4.277	1.828	7.927	5.419	6.299	4.226	5.419
162	6.045	6.543	6.074	5.506	10.377	5.421	5.506
163	2.558	3.876	4.203	2.426	9.293	2.467	2.426
165	3.142	2.393	6.263	3.901	7.840	3.259	3.901
Nilai Min	2.221 (Subjek 154)	1.608 (Subjek 155)	3.930 (Subjek 028)	2.191 (Subjek 154)	3.319 (Subjek 018)	1.945 (Subjek 154)	3.022 (Subjek 061)

Dengan hasil penghitungan di atas, ditentukan untuk subjek A, HRIR yang digunakan adalah milik subjek 154, sedangkan subjek D menggunakan subjek 155 dan subjek F menggunakan subjek 028.

### 3.3.2 Implementasi HRIR pada DSP Board

Pada tahap ini, HRIR yang digunakan merupakan hasil pengukuran yang sudah tersedia di dalam CIPIC HRTF Database. HRIR yang digunakan merupakan HRIR dari subject\_003 di beberapa titik umum, yaitu:

1. Elevasi 0 dan Azimuth 0.

Titik ini merupakan titik yang berada tepat di depan kepala pendengar.

Titik ini berada pada koordinat (13,9) pada database.

2. Elevasi 0 dan Azimuth -80

Titik ini merupakan titik yang berada di ujung sebelah kiri dari kepala pendengar. Titik ini berada pada koordinat (1,9) pada database.

3. Elevasi 0 dan Azimuth 80

Titik ini merupakan titik yang berada di ujung sebelah kanan dari kepala pendengar. Titik ini berada pada koordinat (25,9) pada database.

Untuk mendapatkan HRIR pada titik tersebut, database hrir dibuka pada matlab dan dijalankan command sebagai berikut,

```
h1 = squeeze(hrir_l(13,9,:))  
hr = squeeze(hrir_r(13,9,:))
```

Untuk dapat menggunakan nilai HRIR tersebut perlu dilakukan normalisasi terlebih dahulu dengan membagi nilai HRIR dengan nilai terjauh pada subjek tersebut dan mengalikan nilai tersebut dengan 32767 lalu di bulatkan dikarenakan DSP Board yang digunakan hanya mendukung 16-bit fixed point. Command yang digunakan sebagai berikut,

```
h1 = h1/maxvalue;  
h1 = h1*32767;
```

```
hl = round(hl);  
hr = hr/maxvalue;  
hr = hr*32767;  
hr = round(hr);
```

Nilai yang didapatkan selanjutnya dimasukkan ke dalam *library* yang dibuat berdasarkan nama subjek.

### 3.3.3 Penghitungan Interpolasi Linear dan Bilinear

Penghitungan interpolasi linear dan bilinear dilakukan terhadap HRIR yang sudah memiliki hasil pengukuran secara nyata dan tersedia di dalam database. Selanjutnya hasil penghitungan HRIR dibandingkan dengan hasil pengukuran yang terdapat di dalam database.

Interpolasi dihitung pada semua titik dan semua subjek dengan beberapa pengecualian, yaitu:

- Pada teknik linear horisontal, titik dengan index azimuth 1 atau 25 tidak dapat dihitung.
- Pada teknik linear vertikal, titik dengan index elevasi 1 atau 50 tidak dapat dihitung.
- Pada teknik bilinear, titik dengan index(1,1), (1,50), (25,1), dan (25,50) tidak dapat dihitung.

Contoh penghitungan interpolasi yang dilakukan pada 8 titik untuk pengujian subjektif, yaitu:

- Koordinat (-80°,0°)

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (1,9) maka diperlukan titik (1,8) dan (1,10) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (1,8), (1,10), (2,8), (2,10). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 0$ .

- Koordinat  $(-45^\circ, 0^\circ)$

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (4,9) maka diperlukan titik (3,9) dan (5,9) dengan  $c_\theta = 2/3$  atau titik (4,8) dan (4,10) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (3,8), (5,8), (5,10), (3,10). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 2/3$ .

- Koordinat  $(0^\circ, 0^\circ)$

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (13,9) maka diperlukan titik (12,9) dan (14,9) dengan  $c_\theta = 0.5$  atau titik (13,8) dan (13,10) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (12,8), (14,8), (14,10), (12,10). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 0.5$ .

- Koordinat  $(45^\circ, 0^\circ)$

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (22,9) maka diperlukan titik (21,9) dan (23,9) dengan  $c_\theta = 1/3$  atau titik (22,8) dan (22,10) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (21,8), (23,8), (23,10), (21,10). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 1/3$ .

- Koordinat  $(80^\circ, 0^\circ)$

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (25,9) maka diperlukan titik (25,8) dan (25,10) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (24,8), (24,10), (25,8), (25,10). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 0$ .

- Koordinat (45°,180°)

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (22,41) maka diperlukan titik (21,41) dan (23,41) dengan  $c_\theta = 1/3$  atau titik (22,40) dan (22,42) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (21,42), (23,42), (23,40), (21,40). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 1/3$ .

- Koordinat (0°,180°)

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (13,41) maka diperlukan titik (12,41) dan (14,41) dengan  $c_\theta = 0.5$  atau titik (13,40) dan (13,42) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (12,42), (14,42), (14,40), (12,40). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 0.5$ .

- Koordinat (-45°,180°)

Untuk melakukan interpolasi linear pada titik (4,41) maka diperlukan titik (3,41) dan (5,41) dengan  $c_\theta = 2/3$  atau titik (4,40) dan (4,42) dengan  $c_\theta = 0.5$ . Sedangkan untuk interpolasi bilinear memerlukan titik (2,42), (4,42), (4,40), (2,40). Dengan  $c_\theta = 0.5$  dan  $c_\theta = 2/3$ .

Delapan koordinat ini akan membentuk lingkaran disekeliling kepala pendengar mulai dari ujung kiri bergerak melalui depan ke kanan dan kembali dari kanan ke kiri melalui bagian belakang kepala.

### 3.3.4 Implementasi Interpolasi pada DSP Board

Hasil penghitungan interpolasi pada tahap sebelumnya diimplementasikan ke dalam program seperti pada tahap pertama. Program menggunakan 8 filter HRIR untuk 8 posisi yang akan digunakan secara bergiliran dari ujung kiri ke kanan bagian depan lalu dari ujung kanan ke kiri bagian belakang.

DSP Board menerima input suara pada port stereo in dari port headphone PC dan port stereo out pada DSP Board dihubungkan dengan *headphone/in-ear monitor*.

## 3.4 Pengujian Objektif

Pengujian objektif dilakukan dengan mencari *mean square error* dari perbedaan HRIR hasil penghitungan dan HRIR hasil pengukuran. Penghitungan mean error ini dapat dilihat pada potongan kode berikut,

```
h1 = squeeze(hrir_l(x,y,:));
hr = squeeze(hrir_r(x,y,:));
dl= h1 - mu;      dr= hr - mu;
edl= squeeze(hrir_l_bilinearinterpolation_028(x,y,:));
edr= squeeze(hrir_r_bilinearinterpolation_028(x,y,:));
mse_l(x,y) = 100*(norm(dl-edl)^2/(norm(h1)^2));
mse_r(x,y) = 100*(norm(dr-edr)^2/(norm(hr)^2));

mean_mse_l=mean(mean(mse_l));
mean_mse_r=mean(mean(mse_r));
mean_mse=(mean_mse_l+mean_mse_r)/2;
```

Dimana  $h_l$  dan  $h_r$  adalah HRIR hasil pengukuran yang didapatkan dari CIPIC HRTF Database,  $\mu$  merupakan nilai rata-rata dari setiap titik dan subjek yang ada pada database,  $ed_l$  dan  $ed_r$  adalah HRIR hasil penghitungan sesuai dengan teknik interpolasi yang digunakan.

*Mean square error* yang dinyatakan sebagai variable  $mse_l$  dan  $mse_r$  adalah nilai *mean square error* untuk satu titik. Sedangkan  $mean\_mse_l$ ,  $mean\_mse_r$ , dan  $mean\_mse$  merupakan nilai mean square error untuk satu subjek.

Penghitungan *mean square error* sendiri dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.[11]

$$e_j(\varnothing, \Theta) = 100\% \times \frac{\|h_j(\varnothing, \Theta) - \hat{h}_j(\varnothing, \Theta)\|^2}{\|h_j(\varnothing, \Theta)\|^2} \dots\dots(3.2)$$

Dimana  $h_j(\varnothing, \Theta)$  adalah nilai hrir pada elevasi  $\varnothing$  dan azimuth  $\Theta$  yang terdapat pada CIPIC HRTF Database dan  $\hat{h}_j(\varnothing, \Theta)$  adalah nilai hrir pada elevasi  $\varnothing$  dan azimuth  $\Theta$  yang didapat dari penghitungan menggunakan interpolasi.

### 3.5 Pengujian Subjektif

Pada pengujian subjektif, subjek penelitian diperdengarkan 20 hasil reproduksi suara yang sudah diproses menggunakan HRIR pengukuran nyata dari basis data dan masing-masing HRIR hasil penghitungan interpolasi.

Selanjutnya subjek penelitian akan diminta untuk memberikan pendapat terhadap posisi suara hasil reproduksi dengan 8 kemungkinan posisi yaitu, Koordinat  $(-80^\circ, 0^\circ)$ ,  $(-45^\circ, 0^\circ)$ ,  $(0^\circ, 0^\circ)$ ,  $(45^\circ, 0^\circ)$ ,  $(80^\circ, 0^\circ)$ ,  $(45^\circ, 180^\circ)$ ,  $(0^\circ, 180^\circ)$ , dan  $(-45^\circ, 180^\circ)$ .