



### **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 II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Three Dimensional Sound

*Three Dimensional Sound* atau biasa disebut 3D Sound adalah hasil manipulasi suara yang dapat menunjukkan lokasi sumber suara di ruang virtual baik dari sebelah kiri dan kanan maupun atas dan bawah dari pendengar. Hal ini dapat diperoleh dengan memanfaatkan perbedaan waktu tempuh suara ke telinga sebelah kiri dan kanan manusia dan pemrosesan otak terhadap sinyal suara tersebut.

Ketertarikan pada 3D Sound meningkat akhir-akhir ini dan dapat ditemukan dalam perangkat-perangkat seperti home-theater, video game, dan virtual reality simulator. Dengan adanya 3D Sound, pengguna dapat lebih meningkatkan interaksi dengan ruang virtual yang sedang dijalaninya.[2] 3D Sound juga digunakan dalam militer untuk membantu pilot pesawat tempur agar dapat mendeteksi arah ancaman yang mungkin datang.[3]

Dalam reproduksi suara 3d, terdapat tiga poin penting yang dapat membentuk persepsi pendengar darimana suara berasal, yaitu: [5]

##### *1. Azimuth / Horizontal*

Persepsi pendengar terhadap bidang horizontal dari kiri ke kanan biasanya ditentukan dari Interaural Time Difference (ITD) and Interaural Level Difference (ILD). ITD adalah perbedaan waktu dari sinyal suara yang datang ke telinga kiri dan kanan, sedangkan ILD adalah perbedaan

amplitudo atau kekuatan sinyal suara yang diterima di telinga kiri dan kanan.

### 2. *Elevation / Vertical*

Persepsi pendengar terhadap bidang vertical ditentukan dari ukuran kuping luar / pinna yang berfungsi sebagai antenna akustik. Bentuk dan ukuran pinna dapat menguatkan sinyal pada beberapa frekuensi tertentu dan juga melemahkan sinyal pada frekuensi lainnya.

### 3. *Range*

Persepsi pendengar terhadap jarak biasanya berupa kekuatan sinyal, dan kekerasan suara yang ditangkan oleh telinga.

Dari ketiga poin tersebut, manusia memiliki kemampuan untuk melakukan estimasi dari paling mudah dengan urutan pada bidang hozisontal, vertikal, dan jarak.

## 2.2 **Head-related Transfer Function (HRTF)**

*Head-related Transfer Function (HRTF)* adalah frequency domain transfer function yang dihasilkan dari *Head-related Impulse Response*. Ada dua macam HRTF yaitu, HRTF yang didapat dari HRIR hasil pengukuran secara nyata terhadap subjek manusia ataupun boneka berbentuk kepala manusia dan HRIR hasil permodelan atau penghitungan.

Pada penelitian ini, HRTF yang digunakan adalah yang didapat dari hasil pengukuran nyata yang diukur pada individu dari beberapa titik sumber suara yang ditentukan dengan derajat elevasi dan azimuth tertentu. Pengukuran terhadap

HRTF dilakukan pada poin-poin diskrit karena besarnya kompleksitas yang diperlukan.[7]

HRTF dari setiap individu dapat berbeda karena pengukuran dipengaruhi oleh ukuran kepala, bentuk telinga, dan badan. Selain itu kondisi pengukuran dan posisi individu juga dapat berpengaruh dalam hasil HRIR yang didapatkan.

Saat ini ada beberapa database HRTF hasil pengukuran yang dapat digunakan dan tersedia di internet seperti:

- CIPIC HRTF Database yang mempunyai hasil pengukuran dari 45 individu termasuk pengukuran pada boneka kepala KEMAR dengan ukuran telinga kecil dan besar. [7]
- KEMAR HRTF Database yang dilakukan oleh Bill Gardner dan Keith Martin di MIT Media Lab, memanfaatkan boneka kepala yang ditaruh mikrofon dengan sumber suara yang dihasilkan dari Realistic Optimus Pro 7 Loudspeaker dengan jarak 1.4 meter.[8]

### 2.3 CIPIC HRTF Database

CIPIC HRTF Database adalah HRTF Database yang dapat diakses publik yang berisikan hasil pengukuran HRIR dari 45 individu pada 25 titik *azimuth* dan 50 titik *elevation* yang berbeda.

Pada pengukuran posisi lokasi suara, ditetapkan ketentuan sebagai berikut.[9]

- Koordinat  $(0^{\circ}, 0^{\circ})$  merupakan titik yang berada tepat di depan kepala pendengar

- Koordinat ( $0^\circ, 90^\circ$ ) merupakan titik yang berada tepat di atas kepala pendengar
- Koordinat ( $0^\circ, 180^\circ$ ) merupakan titik yang berada tepat di belakang kepala pendengar
- Koordinat ( $0^\circ, 270^\circ$ ) merupakan titik yang berada tepat di bawah kepala pendengar
- Koordinat ( $90^\circ, 0^\circ$ ) merupakan titik yang berada tepat di samping kanan kepala pendengar
- Koordinat ( $-90^\circ, 0^\circ$ ) merupakan titik yang berada tepat di samping kiri kepala pendengar

Pada CIPIC HRTF Database setiap subjek memiliki database yang berisikan  $hrir_l$ ,  $hrir_r$ ,  $OnL$ ,  $OnR$ , dan  $ITD$ .  $Hrir_l$  dan  $hrir_r$  merupakan matrix  $25 \times 50 \times 200$  yang berisikan 200 nilai pada setiap titik azimuth dan elevasi.

Indeks elevasi dimulai dari 1 pada posisi  $-45^\circ$ , dengan jarak yang sama sebesar  $5,625^\circ$  sampai  $230,625^\circ$  pada indeks 50 sedangkan indeks azimuth memiliki jarak yang berbeda pada beberapa bagian seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.[7]

Tabel 2.1 Indeks Azimuth

Indeks	Posisi	Indeks	Posisi	Indeks	Posisi	Indeks	Posisi	Indeks	Posisi
1	-80	6	-35	11	-10	16	15	21	40
2	-65	7	-30	12	-5	17	20	22	45
3	-55	8	-25	13	0	18	25	23	55
4	-45	9	-20	14	5	19	30	24	65
5	-40	10	-15	15	10	20	35	25	80

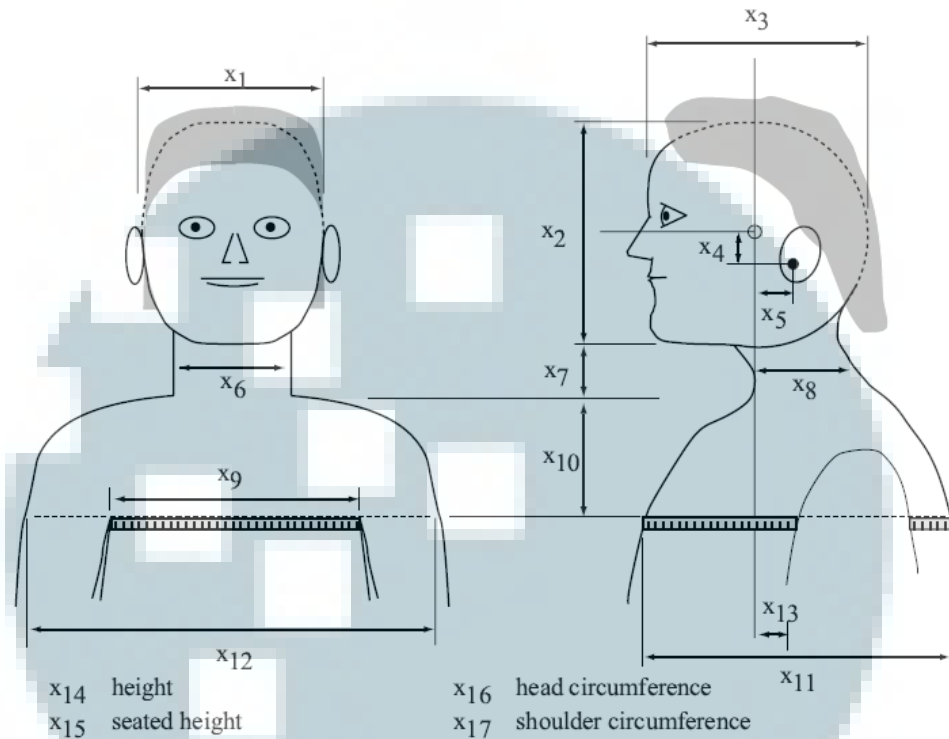
#### 2.4 Anthropometry dalam HRTF Database

Anthropometry adalah pengukuran dari bagian tubuh manusia. Anthropometry dalam HRTF sangatlah penting karena HRTF merupakan pengukuran yang sifatnya sangat subjektif yang dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk dari tubuh manusia dan telinganya.

Pada CIPIC HRTF Database terdapat 17 pengukuran pada bagian tubuh dan kepala, 10 ukuran pinna pada setiap telinga. Tabel 2.2 menunjukkan parameter pengukuran pada bagian tubuh dan kepala. Gambar 2.1 menunjukkan diagram tempat pengukuran.[7]

Tabel 2.2 Parameter pengukuran kepala dan badan. [7]

Variable	Pengukuran
x1	Lebar kepala
x2	Tinggi kepala
x3	Ketebalan kepala
x4	Pinna offset down
x5	Pinna offset back
x6	Lebar leher
x7	Tinggi leher
x8	Ketebalan leher
x9	Lebar badan bagian atas
x10	Tinggi badan bagian atas
x11	Ketebalan badan bagian atas
x12	Lebar bahu
x13	Head offset forward
x14	Tinggi badan
x15	Tinggi saat duduk
x16	Keliling kepala
x17	Keliling Bahu



Gambar 2.1 Diagram pengukuran kepala dan badan. [7]

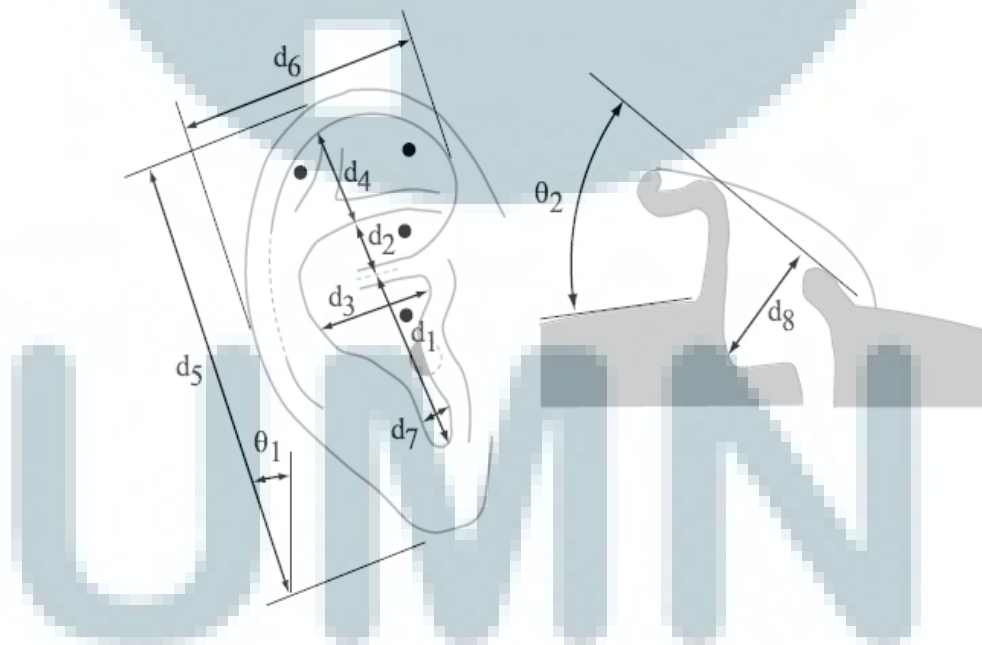
Pada pengukuran pinna, terdapat 8 pengukuran panjang dan 2 pengukuran sudut untuk setiap telinga sehingga untuk setiap subjek terdapat total 20 pengukuran pinna. Tabel 2.3 menunjukkan parameter yang diukur pada pinna dan Gambar 2.2 menunjukkan diagram pengukuran pinna.[7]

Tabel 2.3 Parameter pengukuran pada pinna. [7]

Variable	Pengukuran
d1	Tinggi cavum concha
d2	Tinggi cyma concha



d3	Lebar cavum concha
d4	Tinggi fossa
d5	Tinggi pinna
d6	Lebar pinna
d7	Lebar intertragal incisure
d8	Ketebalan cavum concha
$\theta_1$	Pinna rotation angle
$\theta_2$	Pinna flare angle



Gambar 2.2 Diagram pengukuran pinna. [7]

## 2.5 Interpolasi *HRTF*

Keterbatasan *HRTF* yang tersedia karena kompleksitas pengukuran menyebabkan perlunya teknik interpolasi untuk menghasilkan suara 3D yang memiliki transisi secara cepat dan halus. Ada beberapa teknik interpolasi yang ada saat ini dan dibagi dalam 2 kelompok, yaitu[6]:

- *Direct Interpolation Method*: Pada metode ini, pengukuran *HRTF* pada point tertentu langsung dilakukan dengan menggunakan nilai dari 2 atau lebih *HRTF* yang berada disekitar target point. Contohnya adalah *bilinear method*.
- *Indirect Interpolation Method*: Pada metode ini, pengukuran *HRTF* dilakukan dengan nilai semua poin *HRTF* yang diketahui. Contohnya adalah *Spline interpolation method*. Karena pengukuran yang dilakukan dengan nilai semua poin *HRTF* yang diketahui, teknik ini biasanya memiliki performa yang lebih baik dari *Direct Interpolation Method*, namun metode ini memerlukan konsumsi daya komputer dan memori yang jauh lebih besar.

### 2.5.1 Linear Interpolation

Interpolasi linear adalah salah satu interpolasi yang paling mudah dilakukan. Interpolasi ini menggunakan 2 titik terdekat pada satu bidang lurus dari titik yang ingin dihitung. Teknik linear horizontal menggunakan 2 titik terdekat yang berada di kiri dan di kanan titik yang akan dihitung, sedangkan teknik linear vertikal menggunakan 2 titik terdekat yang berada di atas dan di bawah dari titik

yang akan dihitung. Penghitungan interpolasi linear dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut

$$\hat{h}(k) = (1 - c_\theta)h_a(k) + c_\theta h_b(k) \dots\dots(2.1)$$

Atau

$$\hat{h}(k) = (1 - c_\phi)h_a(k) + c_\phi h_b(k) \dots\dots(2.2)$$

dimana  $c_\phi$  dan  $c_\theta$  adalah

$$c_\theta = \frac{c_\theta}{\theta_{grid}} = \frac{\theta \bmod \theta_{grid}}{\theta_{grid}} \dots\dots(2.3)$$

$$c_\phi = \frac{c_\phi}{\phi_{grid}} = \frac{\phi \bmod \phi_{grid}}{\phi_{grid}} \dots\dots(2.4)$$

$\Theta$  = azimuth

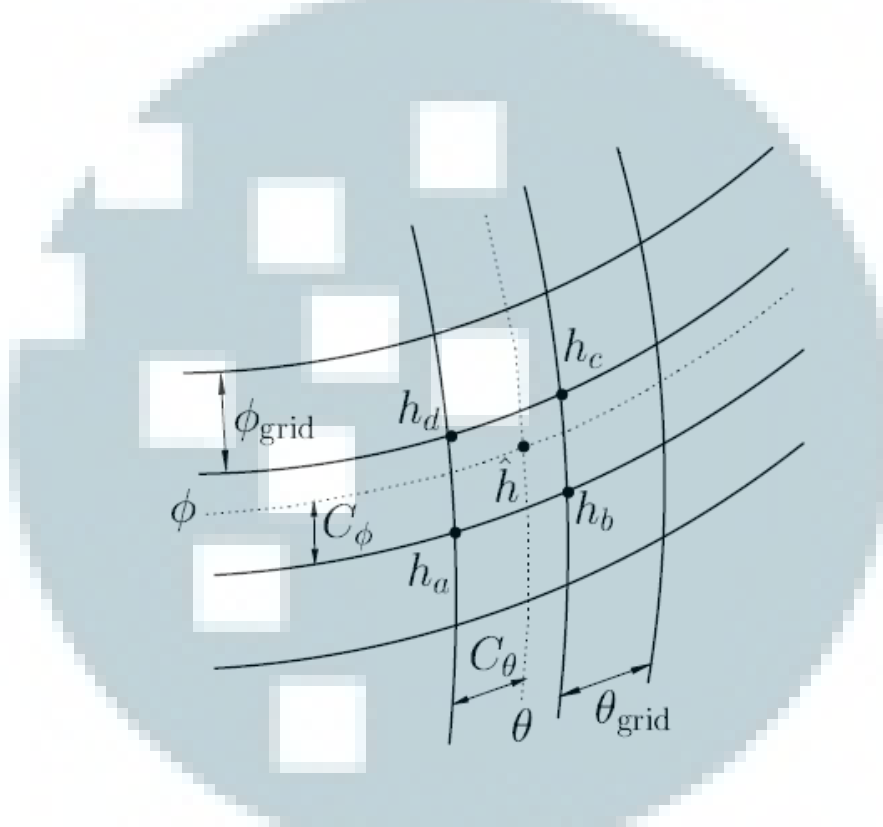
$\phi$  = elevation

### 2.5.2 Bilinear Interpolation

Interpolasi bilinear adalah interpolasi yang menggunakan 4 titik terdekat pada bidang x dan y (horizontal dan vertikal) dari titik yang akan dihitung. Penghitungan interpolasi bilinear dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut

$$\begin{aligned} \hat{h}(k) = & (1 - c_\theta)(1 - c_\phi)h_a(k) + c_\theta(1 - c_\phi)h_b(k) \\ & + c_\theta c_\phi h_c(k) + (1 - c_\theta)c_\phi h_d(k) \dots\dots(2.5) \end{aligned}$$

Dengan  $h_a(k)$ ,  $h_b(k)$ ,  $h_c(k)$ , dan  $h_d(k)$  adalah nilai hrir dari 4 titik terdekat dan  $c_\theta$  serta  $c_\phi$  dapat dihitung menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4). Gambar 2.3 menampilkan *graphical interpretation* dari interpolasi bilinear.[2]



Gambar 2. 3 Graphical Interpretation dari Interpolasi Bilinear. [2]

## 2.6 TMS320C5535 eZdsp™

Digital Signal Processing development kit ini adalah produk dari Texas Instruments yang memiliki beberapa kelebihan diantaranya[10]:

- Menggunakan DSP Processor TMS3210C5535 dengan 16-bit fixed point.
- Ukurannya yang kecil, penggunaan daya yang rendah sehingga bisa menggunakan USB sebagai sumber dayanya.

- Dilengkapi dengan Complete Code Composer Studio yang dapat digunakan untuk mengembangkan software untuk board ini.
- Dilengkapi on-board emulator XDS100 v2 untuk proses debugging.

