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.

Team project ©2017
Dony Pratidana S. Hum | Bima Agus Setyawan S. IIP

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Bunyi

2.1.1. Sifat Fisik Bunyi

Dari sudut pandang fisika, bunyi merupakan sebuah gelombang yang dihasilkan dari getaran suatu benda yang menginterferensi medium elastis. Ketika gelombang suara mencapai gendang telinga pendengar, getaran tersebut ditransmisikan ke telinga bagian dalam (koklea), di mana perpindahan mekanik diubah menjadi pulsa saraf yang dikirim ke otak dan menghasilkan sensasi bunyi. [12]

Bunyi sangat mirip karakteristiknya dengan gelombang elektromagnetik dan gelombang cahaya. Pada medium yang *homogenous* (sejenis), bunyi merambat dengan kecepatan yang konstan. Sebuah sumber titik yang seragam memancarkan gelombang bola yang amplitudonya jatuh terbalik dengan jarak. Gelombang bunyi dipantulkan oleh permukaan halus dan dihamburkan oleh permukaan kasar. Suatu permukaan dikatakan halus apabila ukuran penyimpangannya relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombang, lain dari itu suatu permukaan dikatakan kasar. Gelombang bunyi mengalami difraksi disekitar benda-benda yang dilewatinya. Jika benda tersebut relatif kecil dibandingkan panjang gelombang, efeknya sangat kecil, bahkan tidak ada. Gelombang bunyi melewati benda tersebut tanpa gangguan sama sekali. Jika

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

bendanya besar, ada semacam bayangan bunyi yang muncul di belakang benda, dan sejumlah besar energi dipantulkan kembali ke arah sumber bunyi.

2.1.2. Bunyi dalam Matematika

Secara matematis, gelombang bunyi memenuhi suatu persamaan gelombang. Karena persamaan gelombang linear dengan koefisien konstan, gelombang sinus merupakan *eigenfunction*, hal ini sangatlah penting. Di dalam musik, gelombang sinus sering disebut sebagai nada-nada murni. Secara fisik, apabila sumber bunyi adalah gelombang sinus yang tetap dengan frekuensi *f*, maka respon di titik manapun di suatu ruang juga merupakan gelombang sinus dengan frekuensi *f*. Yang berubah adalah amplitudo dan fasanya.[12]

Untuk gelombang sinus spasial, misalkan panjang gelombangnya λ. Untuk gelombang sinus temporal, sudah menjadi hal umum untuk menyebut frekuensi *f* (dalam Hz), frekuensi sudut dinyatakan sebagai ω(dalam radian *per* detik), dan periode dinyatakan sabagai T (dalam detik). Nilai-nilati tersebut berhubungan dengan kecepatan merambat suara dalam c melalui persamaan berikut:

$$c = f\lambda \ldots\ldots (2.1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \ldots\ldots (2.2)$$

2.1.3. Analisis Fourier

Kebanyakan bunyi alami bukanlah gelombang sinus. Secara khusus karena bunyi alami mempunyai spektrum yang pitanya sangat sempit dan mereka mengatur pola gelombang berdiri di ruangan, gelombang sinus juga sangat sulit untuk dilokalisasi. Dalam beberapa hal gelombang sinus merupakan suara yang

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

tidak cocok untuk audio 3 dimensi. Namun, gelombang lain dapat direpresentasikan sebagai superposisi dari gelombang sinus. Secara khusus, sinyal periodik x(t) dengan frekuensi dasar dapat direpresentasikan sebagai deret Fourier kompleks.

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n \cdot e^{jn2\pi f_0 t} \ldots\ldots (2.3)$$

Dimana x_n :

$$X_n = \int_T^{\infty} x(t) e^{-jn2\pi f_0 t} f_0 t \, dt \ldots\ldots (2.4)$$

dan sebuah signal energy terbatas x(t) bisa direpresentasikan sebagai integral Fourier

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)\, e^{j2\pi ft}\, df \ldots\ldots (2.5)$$

dimana

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, e^{-j2\pi ft}\, dt \ldots\ldots (2.6)$$

dimana X(f) merupakan *Fourier transform* dari x(t). Secara umum, *Fourier transform* rumit, karena mempunyai *magnitude* |X| dan fasa /_X. *Magnitude* X yang dikuadratkan memberikan nilai daya untuk suatu sinyal periodik dan densitas energi untuk sinyal yang energinya terbatas (*finite energy*). Hal ini dapat menjelaskan tentang daya atau energi suatu sinyal di pita frekuensi yang berbeda.

X biasa disebut sebagai spektrum dari x. Secara fisika, hal ini lebih masuk akal untuk sinyal periodik daripada sinyal aperiodik. Untuk sinyal aperiodik seperti pembicaraan, praktek yang biasa dilakukan adalah dengan memotong sebuah segmen waktu singkat dengan mengalikan x(t) dengan sebuah *window function* w(t), dan dengan memanggil *Fourier transform* dari spektrum jangka pendek w(t) x(t). Ketika w(t) x(t) disampel dan *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk menghitung spektrum jangka pendek, asumsinya adalah segmen ini diulang-ulang secara periodik. Perlu diingat bahwa ketika menggunakan FFT untuk analisis spektral, pilihan *window function* yang buruk dapat menghasilkan hasil yang sangat berbeda dari yang diharapkan.

Sejumlah *window function* yang berbeda telah diajukan, seperti *rectangular*, *triangular*, Gaussian, Hamming, Hanning, dan Kaiser *window*. Pada beberapa aplikasi, pemilihan sebuah *window function* bisa menjadi sangat penting, dalam bidang audio, karakteristik yang paling penting adalah durasi atau lebar dari *window* tersebut. *Window* yang panjang memberikan resolusi frekuensi yang bagus, tapi resolusi waktu yang jelek. Sebaliknya, *window* yang pendek memberikan resolusi waktu yang bagus, tetapi resolusi frekuensinya jelek.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah diamati bahwa diperlukan *window* panjang untuk komponen frekuensi rendah dari sinyal, dan *window* pendek untuk komponen frekuensi tinggi sinyal. Hal ini menyebabkan munculnya teori analisa waktu/frekuensi yang dikenal sebagai teori *wavelet*. Telinga manusia menggunakan bandwidth yang lebih lebar untuk frekuensi tinggi daripada frekuensi rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa analisis *wavelet* lebih cocok

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

untuk pendengaran manusia daripada analisis *Fourier*. Akan tetapi, analisis *Fourier* tetap menjadi inti dalam memahami sistem linear.

Fourier transform dari *product* antara *window function* w(t) dengan *impulse response* h(t) merupakan konvolusi kompleks dari *Fourier transform* w(t) dan h(t). Karena pada umumnya *window function* mirip dengan *impulse response* dari *low-pass filter* (LPF). Ini menunjukkan bahwa melakukan proses *window* (windowing) dalam domain waktu akan menghasilkan hasil yang lebih halus di domain frekuensi. Ada situasi di mana windowing memperhalus spektrum. Windowing sebagai operasi lokal di domain waktu, memang mudah dipahami, tapi sebagai operasi global di domain frekuensi, sulit dipahami. Hal terbaik adalah hanya untuk memikirkan windowing sebagai perangkat untuk mengekstraksi segmen stasioner dari sinyal sehingga bagian tengah segmen lebih penting daripada bagian awal atau akhir.

2.1.4. Sistem Linear

Pada tingkat tekanan suara normal, udara merupakan medium normal, dan prinsip superposisi berlaku. Hal ini menyebabkan tiga konsekuensi penting :

1. Respon terhadap banyak sumber suara dapat ditemukan dengan menganggap mereka satu pada tiap waktu tertentu, lalu menambahkan respon yang terpisah.
2. Respon terhadap *arbitary signal* dapat diketahui dari *impulse response.*
3. Teorema Konvolusi dapat digunakan untuk menginterpretasi perilaku di domain frekuensi.

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

Secara khusus, misalkan x(t) merupakan tingkat tekanan suara di suatu tempat, dan y(t) merupakan respon yang dihasilkan di tempat lain. Maka, jika *impulse response* h(t) dari suatu kanal akustik diketahui, didapatkan y(t) dari intregral konvolusi.

$$y(t) = h * x = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)\, x(t-\tau)\mathrm{d}\tau = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\, h(t-\tau)\mathrm{d}\tau \ldots\ldots (2.7)$$

Transformasi Fourier dari *impulse response* h(t) disebut *transfer function* H(f). Jika X(f) merupakan transformasi Fourier dari input x(t), dan jika Y(f) adalah transformasi Fourier dari output, maka Teorema Konvolusi menghasilkan

$$Y(f) = H(f)X(f) \ldots\ldots (2.8)$$

Dengan demikian, spektrum sinyal yang diterima adalah produk sederhana dari spektrum sumber dan spektrum kanal. Kanal mengubah kualitas suara dengan menambahkan dan menggeser waktu beberapa komponen dari spektrum sumber, dan mengurangi serta menggeser waktu komponen lainnya. *Magnitude* H(f) mengungkapkan tingkat perubahan, sedangkan fasa H(f) mengungkap tentang pergeseran waktu. Untuk lebih spesifik, jika g adalah sudut fase H, maka itu diketahui bahwa *group delay* diperkenalkan oleh fungsi transfer diberikan oleh

$$\tau = -\frac{1}{2\pi}\frac{\mathrm{dg}}{\mathrm{df}} \ldots\ldots (2.9)$$

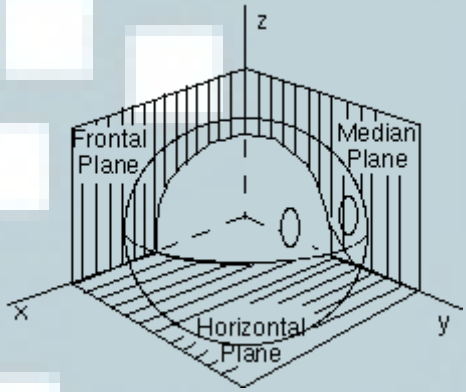
Hubungan Y (f) = H (f) X (f) hanya berlaku jika X (f) adalah Transformasi Fourier dari x (t) atas seluruh interval waktu yang tidak terbatas. Hal ini bukan

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

berarti bahwa hasil keluaran spektrum jangka pendek adalah produk dari *transfer function* dan *input* spektrum jangka pendek.

2.1.5. Sistem Koordinat

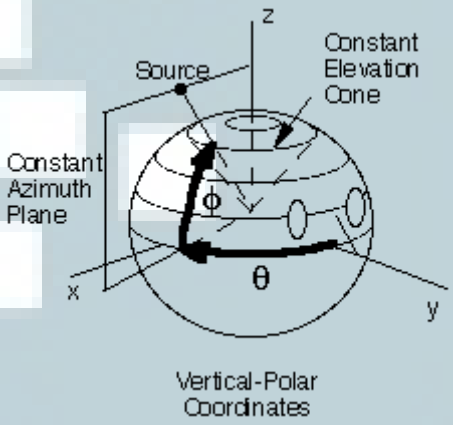
Sistem koordinat diperlukan untuk menentukan posisi relatif sumber bunyi terhadap pendengar. Salah satu pilihannya adalah sistem *head-centered rectangular-coordinate*. [11]



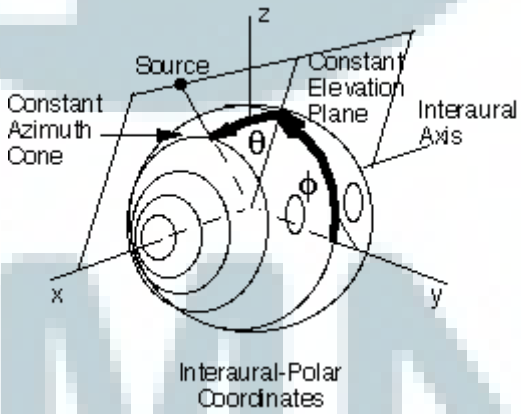
Gambar 2. 1 Head-Centered Rectangular-Coordinate System [10]

Pada sistem ini sumbu X menuju ke arah telinga kanan, sumbu Y menuju lurus ke depan, dan sumbu Z adalah arah vertikal.Hal tersebut berarti ada tiga buah bidang standar, bidang xy atau bidang horizontal, bidang xz atau bidang frontal, dan bidang yz atau bidang median. Sudah jelas bahwa, bidang horizontal mendefinisikan pemisahan atas dengan bawah, bidang frontal mendefinisikan pemisahan, depan dengan belakang pemisahan, dan bidang median mendefinisikan pemisahan kanan dengan kiri. [11]

Namun, karena bentuk kepala menyerupai bentuk bola, sistem koordinat bola biasanya yang digunakan. Koordinat standar yang dimiliki sistem ini adalah azimuth, elevasi dan jarak. Akan tetapi, ada lebih dari satu cara untuk mendefinisikan koordinat ini, dan orang-orang yang berbeda mendefinisikannya dengan cara yang berbeda.



Gambar 2. 2 Sistem Vertical-Polar [11]



Gambar 2. 3 Sistem Interaural-Polar [11]

Sistem koordinat Vertical-Polar merupakan sistem yang paling populer. Pertama-tama sudut azimuth θ yang merupakan sudut di antara bidang median dan

bidang vertikal yang berisi sumber dan sumbu z diukur, kemudian sudut elevasi φ, yang merupakan sudut naik dari bidang horizontal diukur. Dengan pilihan ini, permukaan azimuth konstan adalah bidang-bidang yang melalui sumbu z, dan permukaan elevasi konstan kerucut konsentris terhadap sumbu z.

Sistem koordinat yang lain adalah Interaural-polar. Pada sistem ini, langkah pertamanya adalah mengukur elevasi sebagai sudut dari bidang horizontal ke sebuah bidang yang melalui sumber dan sumbu x, yang merupakan sumbu interaural. Sudut azimuth kemudian diukur sebagai sudut atas dari bidang median. Dengan pilihan ini, permukaan elevasi konstan adalah bidang yang melalui sumbu interaural, dan permukaan azimut konstan kerucut konsentris dengan sumbu interaural.

Sistem Vertical-polar lebih cocok untuk menggambarkan sumber yang terbatas pada bidang horizontal. Hal ini dikarenakan seseorang hanya harusmenentukan azimuth sebagai sudut antara -180Â°dan + 180 Â °. Jika menggunakan sistem Interaural-polar, nilai sudut azimuth hanya berkisar antara -90Â° dan + 90Â°. Perbedaan antara depan dan belakang harus ditentukan oleh sudut elevasi. Sudut elevasi bernilai 0Â° untuk sumber yang berada di sisi depan bidang horizontal, dan 180Â°/ -180Â°untuk sumber yang berada di sisi belakang bidang horizontal. Hal ini dapat memunculkan resiko adanya kesalahan, akan tetapi sistem Interaular-polar lebih mudah untuk menunjukkan perbedaan interaural pada semua elevasi. [11]

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

2.2. Head Related Transfer Function (HRTF)

HRTF merupakan fungsi yang mendeskripsikan bagaimana cara telinga menangkap suatu bunyi dari suatu titik tertentu. Kedua telinga memiliki HRTF yang berbeda terhadap suatu titik. Hal tersebut dikarenakan sudut elevasi φ, dan sudut azimuth θ yang berbeda dari masing-masing telinga manusia. HRTF menangkap semua isyarat fisik untuk sumber lokalisasi. Setelah HRTF untuk telinga kiri dan telinga kanan diketahui, kita dapat mensintesis sinyal binaural akurat dari sumber suara mono.

HRTF merupakan fungsi yang memiliki empat buah variabel, yakni tiga variabel koordinat ruang dan frekuensi. Pada koordinat bola, apabila jarak sumber bunyi lebih dari satu meter, sumber bunyi tersebut dikatakan terletak pada medan jauh, dan HRTF jatuh secara terbalik dengan jarak. Sebagian besar pengukuran HRTF dibuat di medan jauh, yang pada dasarnya mengurangi HRTF menjadi sebuah fungsi azimuth, elevasi dan frekuensi.[10]

Pada sistem yang nyata, jumlah HRTF yang ada terbatas. Semua HRTF tersebut diperoleh dari Head Related Impulse Response (HRIR) yang diukur pada situasi yang terkendali, lalu pada HRIR tersebut dilakukan transformasi Fourier, yang menghasilkan HRTF. Misalnya pada suatu ruangan dengan radius tertentu. Dengan titik-titik yang telah ditentukan pada sudut elevasi φ, dan sudut azimuth θ yang berpatokan pada masing-masing telinga manusia. Karena jumlah HRTF terbatas, untuk mengestimasi HRTF yang tidak terukur pada titik-titik lain diperlukan suatu skema Interpolasi. [4]

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

2.3. PKU-IOA HRTF Database

PKU-IOA HRTF adalah HRTF database yang telah dirilis ke publik dan dapat diunduh di http://www.cis.pku.edu.cn/auditory/Staff/Dr.Qu.files/Qu-HRTF-Database.html. Database ini berisi data HRIR yang diukur dengan menggunakan manekin KEMAR. Database ini memiliki data pada 6344 titik, dengan jarak dari 20cm s.d. 160cm, sudut elevasi dari -40° s.d. 90°, dan sudut azimuth dari 0° s.d 360°.

Untuk jarak, database ini memiliki data pada jarak 20cm, 30cm, 40cm, 50cm, 75 cm, 100cm, 130cm, dan 160 cm. Sedangkan untuk sudut elevasi, database ini memiliki data dari -40° s.d. 90° dengan lompatan 10°. Untuk sudut azimuth berkisar dari sudut 0° s.d 360°, namun lompatannya bergantung pada sudut elevasinya, dengan ketentuan sebagai berikut

- Pada sudut elevasi -40° s.d. 50°, lompatan sudut azimuth sebesar 5°.
- Pada sudut elevasi 60° lompatan sudut azimuth sebesar 10°.
- Pada sudut elevasi 70° lompatan sudut azimuth sebesar 15°.
- Pada sudut elevasi 80° lompatan sudut azimuth sebesar 30°.
- Pada sudut elevasi 90° lompatan sudut azimuth sebesar 360°.

Pada setiap titik, database ini memiliki data sebanyak 2048 angka dengan tipe data *double*. 1024 data pertama merupakan data untuk telinga kiri, dan 1024 data sisanya merupakan data telinga kanan. Database ini menggunakan *sampling rate* sebesar 65536 Hz.

2.4. Interpolasi

Interpolasi merupakan sebuah metode untuk mencari titik-titik data baru dalam suatu jangkauan tertentu pada sekumpulan data diskrit tertentu. Interpolasi HRTF diperlukan untuk mengestimasi HRTF pada lokasi manapun yang diinginkan. Tidak semua lokasi dapat diperoleh HRTFnya, dikarenakan oleh keterbatasan pada sistem yang tidak dapat menampung HRTF yang jumlahnya tidak terbatas, atau karena tidak ada titik acuan di sekitar lokasi tersebut. Selain itu karena keterbatasan sumber daya, pada *real-time system* diperlukan algoritma interpolasi yang tidak menggunakan banyak sumber daya, namun tidak menyebabkan hasil akhir menjadi salah atau tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Apabila interpolasi HRTF tidak dilakukan, maka akan perlu melakukan banyak sekali pengukuran HRTF yang cukup menghabiskan waktu. Selain itu diperlukan media penyimpanan untuk menyimpan data-data hasil pengukuran tersebut yang jumlahnya sangat banyak, sehingga akan menggunakan banyak *storage*.

Interpolasi terbagi menjadi beberapa macam , yaitu:

- Interpolasi Linear
- Interpolasi Bilinear
- Interpolasi Trilinear
- Interpolasi Kuadratik
- Interpolasi Polinomial

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

Pada penelitian ini, peneliti akan menggunakan metode interpolasi bilinear dan trilinear. Karena interpolasi *triangular* (segitiga) dan *rectangular* (segiempat) termasuk interpolasi bilinear, sedangkan interpolasi *tetrahedral* merupakan interpolasi trilinear.

2.4.1. Interpolasi Bilinear

Interpolasi bilinear merupakan interpolasi yang menggunakan sejumlah titik terdekat pada bidang horizontal dan vertikal (azimuth dan elevasi) dari titik yang akan dicari nilainya. Pada interpolasi bilinear *rectangular*, ada empat buah titik yang menjadi titik acuan. Keempat titik tersebut akan membentuk sebuah bidang segiempat. Sedangkan pada interpolasi bilinear triangular ada tiga buah titik yang menjadi titik acuan, dan ketiga titik tersebut membentuk sebuah bidang segitiga. Perhitungan interpolasi bilinear *rectangular* dapat dilakukan dengan persamaan berikut

$$\hat{h}(k) = (1 - C_\theta)(1 - C_\varphi)h_a(k) + C_\theta(1 - C_\varphi)h_b(k) + C_\theta C h_c(k) + (1 - C_\theta)C_\varphi h_d(k) \ldots\ldots (2.10)$$

dimana C_θ dan C_φ adalah

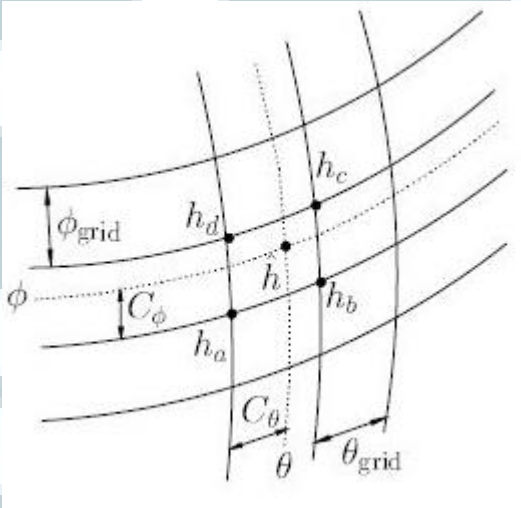
$$C_\theta = \frac{c_\theta}{\theta grid} = \frac{\theta mod\ \theta grid}{\theta grid} \ldots\ldots (2.11)$$

$$C_\varphi = \frac{c_\varphi}{\varphi grid} = \frac{\varphi mod\ \varphi grid}{\varphi grid} \ldots\ldots (2.12)$$

φ merupakan lambang untuk elevasi, dan θ merupakan lambang untuk azimuth.

Pada Gambar 2.4, h_a, h_b, h_c, dan h_d merupakan keempat titik HRIR/ HRTF yang nilainya sudah diketahui. Keempat titik tersebut merupakan titik

acuan dalam perhitungan interpolasi. Pada gambar tersebut juga dijelaskan bagaimana nilai nilai dari C_θ dan C_φ bisa didapatkan.Berikut merupakan *graphical interpretation* dari interpolasi bilinear rectangular.



Gambar 2. 4 *Graphical Interpretation* dari Interpolasi Bilinear *Rectangular* [4]

Pada penelitian ini, karena database yang digunakan memiliki tiga buah parameter posisi, yakni azimuth, elevasi, dan jarak, maka interpolasi bilinear tidak harus menggunakan parameter azimuth-elevasi. Bisa juga dengan menggunakan parameter jarak-elevasi, dan azimuth-jarak.

Interpolasi bilinear *rectangular* memerlukan empat buah titik yang dijadikan sebagai acuan. Sedangkan interpolasi bilinear *triangular* hanya memerlukan tiga buah titik acuan. Perhitungannya mengikuti persamaan berikut

$$HRTF_P = w_A HRTF_A + w_B HRTF_B + w_C HRTF_C \ldots\ldots (2.13)$$

dimana W_A, W_B, dan W_C merupakan bobot perhitungan untuk interpolasi yang mengikuti ketentuan

$$w_A + w_B + w_C = 1 \ldots\ldots (2.14)$$

$HRTF_P$, merupakan nilai HRTF yang akan dicari. $HRTF_A$, $HRTF_B$, dan $HRTF_C$ merupakan ketiga titik HRTF yang nilainya sudah diketahui dan dijadikan sebagai titik acuan. Perlu diingat bahwa untuk pencarian nilai HRIR menggunakan cara yang sama dengan pencarian nilai HRTF.

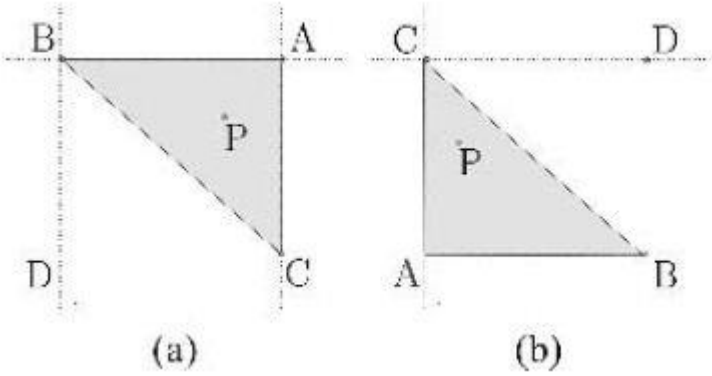
Dengan mengacu pada gambar 2.5 dan 2.6, dapat diperoleh W_C dan W_B dengan persamaan

$$W_C = \frac{\Delta\phi}{\Delta\phi\ grid} \ldots\ldots (2.15)$$

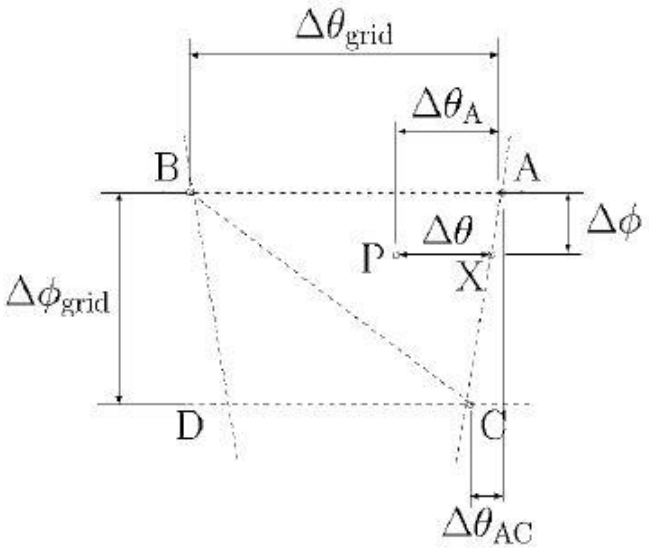
$$W_B = \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta\ grid} \ldots\ldots (2.16)$$

Berikut merupakan *graphical interpretation* dari interpolasi bilinear *triangular*, dan gambar jarak *angular* untuk mendapatkan ketiga bobot

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016



Gambar 2. 5 *Graphical Interpretation* dari Interpolasi Bilinear *Triangular* [4]

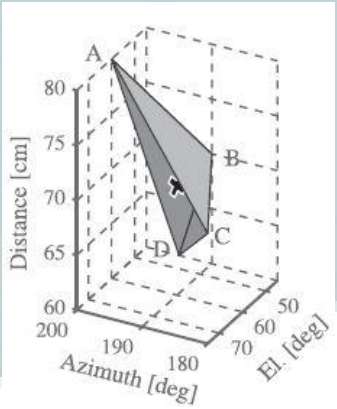


Gambar 2. 6 Jarak Angular untuk mencari nilai W_A, W_B, dan W_C [4]

2.4.2. Interpolasi Tetrahedral

Interpolasi tetrahedral merupakan interpolasi yang menggunakan 4 titik terdekat pada bidang horizontal, vertikal (azimuth ,elevasi) dan jarak dari titik yang akan dicari nilainya. Keempat titik terdekat tersebut membentuk sebuah bangun ruang limas segiempat (tetrahedral).

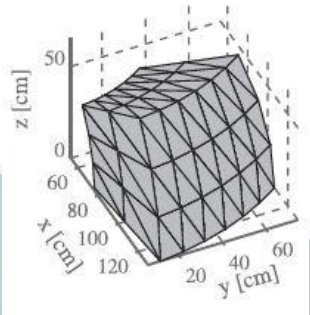
Tetrahedral seperti pada gambar 2.7 dapat diperoleh dengan melakukan Delaunay *Triangulation* (DT) terhadap titik-titik yang terdapat nilai HRTF/HRIR. DT akan menghasilkan segitiga yang memiliki sudut minimum terbesar. Jika dilakukan pada bidang dua dimensi, DT akan menghasilkan segitiga yang lingkaran luar segitiganya tidak ada titik lain di dalam lingkaran tersebut. Hal serupa juga terjadi apabila DT dilakukan pada ruang tiga dimensi, DT akan menghasilkan *tetrahedra* dimana bola luar *tetrahedra* tersebut tidak mempunyai titik lain di dalamnya. Berikut merupakan *graphical interpretation* dari interpolasi *tetrahedral*



Gambar 2. 7 *Graphical Interpretation* dari Interpolasi *Tetrahedral* [6]

Berikut merupakan gambar dari hasil DT pada PKU-IOA HRTF Database

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016



Gambar 2. 8 Delaunay Triangulation pada Titik-Titik Pengukuran di PKU-IOA HRTF Database [6]

Perhitungan interpolasi tetrahedral dapat dilakukan dengan persamaan berikut

$$X = g_1 A + g_2 B + g_3 C + g_4 D \ldots\ldots (2.17)$$

Seperti pada gambar 2.7, dan berdasarkan persamaan 2.17, X merupakan HRIR/HRTF yang akan dicari dengan menggunakan interpolasi. A, B, C, dan D, merupakan nilai HRIR/HRTF pada titik-titik yang jika dihubungkan membentuk sebuah *tetrahedral* yang menutupi titik X. Variabel g_1 sampai dengan g_4 merupakan koordinat *barycentric* dari X. Koordinat *barycentric* dapat digunakan langsung sebagai bobot interpolasi untuk mengestimasi nilai HRTF/HRIR di titik X. Bobot tersebut memiliki ketentuan yakni

$$\sum_{i=1}^{4} g_i = 1 \ldots\ldots (2.18)$$

Dengan mengurangkan D dari persamaan 2.17, diperoleh

$$X - D = [g_1\ g_2\ g_3]T \ldots\ldots (2.19)$$

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

Dimana T merupakan

$$T = \begin{bmatrix} A - D \\ B - D \\ C - D \end{bmatrix} \ldots\ldots (2.20)$$

dengan demikian dari persamaan 2.19, bobot dari keempat titik dapat diperoleh dengan persamaan

$$[g_1\ g_2\ g_3] = (X - D)T^{-1} \ldots\ldots (2.21)$$

dan untuk nilai g_4 dapat diperoleh dari persamaan 2.20, yakni

$$g_4 = 1 - \ g_1 - \ g_2 - \ g_3 \ldots\ldots (2.22)$$

Perlu diperhatikan bahwa interpolasi *tetrahedral* hanya dapat dilakukan apabila ada data HRIR/HRTF pada setidaknya 2 jarak yang berbeda. Karena demikian, interpolasi *tetrahedral* tidak dapat diuji menggunakan data dari CIPIC HRTF Database, karena database tersebut hanya memiliki data HRIR pada satu jarak saja.

2.5. MATLAB

Matrix Laboratory (MATLAB) merupakan bahasa tingkat tinggi dan *software* yang dikembangkan oleh Mathworks, yang digunakan untuk komputasi numerik, visualisasi dan pemrograman. MATLAB juga dapat digunakan untuk analisa data, mengembangkan algoritma, membuat model untuk simulasi, dan membuat aplikasi. Selain itu MATLAB biasa digunakan dalam pemrosesan sinyal dan komunikasi, gambar dan pemrosesan video, sistem kontrol, uji dan pengukuran, keuangan komputasi, dan biologi komputasi. MATLAB banyak

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016

digunakan oleh para insinyur dan ilmuwan di industri dan akademisi. Peneliti akan menggunakan MATLAB untuk membuat program yang melakukan interpolasi HRTF.

Analisis algoritma..., Jovan Anggara, FTI UMN, 2016