

Materi Ajar

Fondasi Audio Digital (Sampling Rate & Bit Depth)

Mata Kuliah : Elektronika dan Instrumentasi
Program Studi : Teknologi Multimedia Broadcasting
Dosen : Muhammad Turmudzi

1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti sesi ini, mahasiswa diharapkan mampu:

- Memahami konsep dasar Konversi Analog-ke-Digital (ADC).
- Menjelaskan definisi dan fungsi dari **Sampling Rate** (Frekuensi Sampling).
- Menjelaskan definisi dan fungsi dari **Bit Depth** (Kedalaman Bit).
- Memahami **Teorema Nyquist** dan hubungannya dengan standar audio.
- Mengidentifikasi standar *sampling rate* dan *bit depth* yang umum digunakan dalam industri (misal: 44.1 kHz, 48 kHz, 16-bit, 24-bit).

2. Pengantar: Dari Analog ke Digital (ADC)

Suara di dunia nyata bersifat **analog**—gelombang kontinu yang merambat melalui udara. Namun, komputer dan perangkat digital (smartphone, kamera) tidak dapat menyimpan gelombang kontinu. Mereka hanya mengerti angka: 1 dan 0.

Proses mengubah gelombang suara analog yang "mulus" menjadi serangkaian angka digital disebut **Analog-to-Digital Conversion (ADC)**.

Bayangkan proses ini seperti mencoba "menggambar ulang" sebuah bukit yang meliuk-liuk hanya dengan menggunakan balok-balok Lego. Untuk melakukannya, Anda perlu memutuskan dua hal:

1. **Seberapa sering** Anda akan meletakkan balok Lego di sepanjang bukit? (Ini adalah **Sampling Rate**).
2. **Seberapa presisi** Anda mengukur ketinggian bukit di setiap titik? (Ini adalah **Bit Depth**).

3. Fokus Utama 1: Sampling Rate (Frekuensi Sampling)

- **Apa itu?** *Sampling rate* adalah jumlah "potret" atau "sampel" (pengukuran) yang diambil dari gelombang analog **setiap detik**.

- **Satuan:** Hertz (Hz) atau KiloHertz (kHz).
- **Contoh:** *Sampling rate* **48 kHz** berarti perangkat Anda mengambil 48.000 sampel audio per detik.

a. Aturan Emas: Teorema Nyquist-Shannon

Ini adalah aturan paling penting dalam audio digital.

- **Isi Teorema:** Untuk dapat merekam dan memutar ulang sebuah frekuensi secara akurat, Anda harus mengambil sampel **minimal dua kali lipat dari frekuensi tertinggi** yang ingin Anda rekam.
- **Pendengaran Manusia:** Manusia dapat mendengar suara hingga frekuensi **20.000 Hz (20 kHz)**.
- **Perhitungannya:** $2 \times 20.000 \text{ Hz (batas pendengaran)} = \mathbf{40.000 \text{ Hz (40 kHz)}}$.
- **Kesimpulan:** Kita membutuhkan *sampling rate* minimal 40 kHz untuk merekam semua suara yang bisa didengar manusia.

b. Standar Umum Sampling Rate:

- **44.1 kHz (44.100 sampel/detik):** Standar untuk **CD Audio**. Angka ini sedikit di atas 40 kHz untuk memberikan "ruang bernapas" teknis (disebut *anti-aliasing filter*).
- **48 kHz (48.000 sampel/detik):** Standar internasional untuk **audio dalam video**. Ini adalah standar yang digunakan di TV, film, DVD, dan platform seperti YouTube. **(Ini adalah standar yang paling relevan untuk Anda sebagai mahasiswa Broadcasting).**
- **96 kHz (96.000 sampel/detik):** Digunakan dalam rekaman studio profesional. Kualitasnya sangat tinggi, namun ukuran filenya jauh lebih besar.

Apa yang Terjadi Jika Sampling Rate Terlalu Rendah? Terjadi *aliasing*, di mana frekuensi tinggi akan terdengar salah (misal: frekuensi tinggi terdengar seperti frekuensi rendah yang aneh), merusak kualitas audio.

4. Fokus Utama 2: Bit Depth (Kedalaman Bit)

- **Apa itu?** Jika *sampling rate* adalah seberapa sering kita mengukur, *bit depth* adalah seberapa *presisi* setiap pengukuran tersebut. *Bit depth* adalah jumlah bit (angka 1 dan 0) yang digunakan untuk merepresentasikan **amplitudo (volume)** dari setiap sampel.
- **Analogi:** Bayangkan sebuah penggaris.
 - *Bit depth* rendah (misal 8-bit) seperti penggaris yang hanya memiliki tanda setiap 10 cm. Sangat tidak akurat.
 - *Bit depth* tinggi (misal 24-bit) seperti penggaris yang memiliki tanda milimeter. Sangat presisi.

a. Hubungan Bit Depth dengan Kualitas

Bit depth secara langsung menentukan dua hal yang sangat penting:

1. **Dynamic Range (Rentang Dinamis):** Perbedaan antara suara **terpelan** yang bisa direkam dan suara **terkeras** yang bisa direkam sebelum terjadi *clipping* (pecah/distorsi).
2. **Noise Floor (Lantai Kebisingan):** Tingkat kebisingan digital (desis) yang ada di dalam rekaman.

Aturan Sederhana: Setiap 1 bit kedalaman menambahkan sekitar 6 dB rentang dinamis.

b. Standar Umum Bit Depth:

- **16-bit:**
 - Rentang Dinamis: $16 \text{ bit} \times 6 \text{ dB/bit} = \sim 96 \text{ dB}$.
 - Penggunaan: Standar untuk **CD Audio** dan file konsumsi akhir (MP3, streaming).
 - Keterbatasan: *Noise floor* pada 16-bit masih bisa terdengar jika rekaman terlalu pelan lalu dikeraskan.
- **24-bit:**
 - Rentang Dinamis: $24 \text{ bit} \times 6 \text{ dB/bit} = \sim 144 \text{ dB}$.
 - Penggunaan: Standar untuk **rekaman studio profesional** dan **produksi video**.
 - Keuntungan: Rentang dinamisnya sangat besar, dan *noise floor*-nya secara praktis **tidak terdengar**. Ini memberi kita *headroom* yang sangat besar, sehingga kita bisa merekam di level yang lebih aman (tidak terlalu keras) tanpa khawatir desis saat volume diangkat.

5. Kesimpulan & Rekomendasi Standar

- **Sampling Rate** = Mengukur **Frekuensi** (Sumbu Horizontal / Waktu).
- **Bit Depth** = Mengukur **Amplitudo** (Sumbu Vertikal / Volume).

Standar Emas untuk Broadcasting/Video: Saat Anda mengatur proyek video (di kamera atau software editing), selalu gunakan standar **48 kHz / 24-bit**.

- **48 kHz** agar sesuai dengan standar video.
- **24-bit** agar Anda memiliki *noise floor* yang rendah dan *headroom* yang besar saat mengedit audio.

6. Referensi

- Huber, D. M., & Runstein, R. E. (2018). *Modern Recording Techniques*. Focal Press.
- Katz, B. (2002). *Mastering Audio: The Art and the Science*. Focal Press.