



Supplementary Materials

Remote Photoplethysmography

Martin C.T. Manullang

Institut Teknologi Sumatera

Website: mctm.web.id/course/if25-40305

2025

OUTLINE

1. The Magic Trick
2. The History of rPPG
3. Where to Look?
4. From Video to Signals
5. From Signal to Numbers
6. Real World Implementation

The Magic Trick

Demonstrasi: Pulse Oximeter

Perhatikan Alat Ini

Alat klip jari ini adalah **pulse oximeter** yang dapat mengukur detak jantung dan kadar oksigen darah.

Cara Kerja:

1. Cahaya masuk ke dalam jari
2. Cahaya dipantulkan kembali
3. Sensor mendeteksi perubahan cahaya

Pertanyaan Kunci:

- Bagaimana alat ini bekerja?
- Apa yang dideteksi oleh sensor?
- Mengapa harus ditempelkan ke jari?

Tantangan Baru

**Bisakah kita melakukan hal yang sama
dengan webcam seharga Rp 300.000
dari jarak 1 meter?**

Perbedaan Utama

Pulse oximeter memerlukan **kontak langsung**, sedangkan webcam bekerja dari **jarak jauh** tanpa sentuhan.

Apa itu Remote Photoplethysmography (rPPG)?

Definisi

rPPG adalah teknologi untuk mendeteksi perubahan volume darah menggunakan **sensor optik** (kamera) secara **jarak jauh**.

Istilah Penting:

1. *Remote* = Jarak jauh, tanpa kontak fisik
2. *Photo* = Menggunakan cahaya
3. *Plethysmography* = Pengukuran perubahan volume

Aplikasi:

- Monitoring kesehatan tanpa sentuhan
- Deteksi stres atau kelelahan
- Sistem keamanan berbasis biometrik

Fisika Dasar: Hemoglobin dan Cahaya

Konsep Kunci

Darah mengandung **hemoglobin** yang berfungsi sebagai filter cahaya.

Sifat Hemoglobin:

1. Darah beroksigen berwarna merah
2. Menyerap cahaya hijau dengan sangat baik
3. Memantulkan cahaya merah

Mengapa Penting?

- Perubahan volume darah = perubahan penyerapan cahaya
- Kamera dapat mendeteksi perubahan ini
- Terutama pada spektrum cahaya hijau

Siklus Jantung: Fase Pompa

Apa yang Terjadi Saat Jantung Memompa?

Jantung memompa → Pembuluh darah **mengembang** → Lebih banyak darah di kulit.

Efek pada Kulit:

1. Volume darah di kulit meningkat
2. Kulit menyerap lebih banyak cahaya
3. Kulit terlihat sedikit lebih gelap

Analogi:

Bayangkan balon yang diisi air. Semakin banyak air, balon semakin besar dan warnanya semakin pekat.

Siklus Jantung: Fase Relaksasi

Apa yang Terjadi Saat Jantung Berelaksasi?

Jantung berelaksasi → Pembuluh darah **mengecil** → Lebih sedikit darah di kulit.

Efek pada Kulit:

1. Volume darah di kulit menurun
2. Kulit memantulkan lebih banyak cahaya
3. Kulit terlihat sedikit lebih terang

Fase Pompa:

Gelap (banyak darah)

Fase Relaksasi:

Terang (sedikit darah)

Kesimpulan: Apa yang Dilihat Kamera?

Kamera tidak melihat jantung,
tetapi melihat **"kedipan warna"**
di wajah yang terjadi 60-100 kali per menit!

Istilah Teknis

Fenomena ini disebut **micro-blushing** atau perubahan warna mikro pada kulit.

Tantangan Teknis

Masalah Utama

Perubahan warna ini **tidak terlihat** oleh mata telanjang manusia.

Mengapa Tidak Terlihat?

1. Perubahan sangat kecil dan cepat
2. Mata manusia tidak cukup sensitif
3. Terjadi di seluruh permukaan wajah secara bersamaan

Fakta:

Perubahan terjadi setiap detik, tetapi terlalu halus untuk mata kita.

Solusi:

Gunakan kamera dan algoritma komputer!

Seberapa Kecil Perubahan Ini?

Skala Perubahan

Perubahan warna hanya sekitar **1/10** dari satu nilai piksel dalam gambar 8-bit.

Apa Artinya?

1. Gambar 8-bit memiliki nilai piksel 0-255
2. Perubahan rPPG hanya sekitar 0.1 nilai piksel
3. Sangat kecil untuk dideteksi langsung

Analogi:

Seperti mencoba mendengar bisikan seseorang di tengah konser musik yang sangat keras.

Masalah: Sinyal vs Noise

Perbandingan

Sinyal yang kita cari **lebih kecil** daripada noise (gangguan) dari sensor kamera.

Sumber Noise:

1. Kualitas sensor kamera
2. Pencahayaan ruangan
3. Gerakan subjek
4. Bayangan dan refleksi

Tantangan:

- Sinyal rPPG sangat lemah
- Noise jauh lebih kuat
- Perlu teknik khusus untuk ekstraksi

Pernyataan Masalah dalam Ilmu Komputer

**Bagaimana cara menemukan sinyal
yang lebih kecil dari noise
sensor kamera?**

Ini adalah Masalah Pemrosesan Sinyal

Kita perlu menggunakan algoritma dan matematika untuk **memisahkan** sinyal detak jantung dari noise.

Rangkuman: Memahami Masalah

Apa yang Sudah Kita Pelajari:

1. rPPG mendeteksi perubahan volume darah menggunakan kamera
2. Hemoglobin dalam darah menyerap cahaya hijau
3. Siklus jantung menyebabkan perubahan warna mikro pada kulit
4. Perubahan ini tidak terlihat mata telanjang
5. Sinyal sangat kecil, lebih kecil dari noise kamera

Pertanyaan Selanjutnya

Bagaimana cara kita **mengekstrak sinyal** detak jantung dari video wajah?

The History of rPPG

Perjalanan Teknologi rPPG

Dari Eksperimen Sederhana hingga Kecerdasan Buatan (2008 - 2022)

Mengapa Sejarah Penting?

Memahami evolusi teknologi membantu kita mengerti **mengapa** dan **bagaimana** algoritma bekerja.

GREEN (2008): Penemuan Awal

Penemuan Verkrusse

Peneliti menemukan bahwa **cahaya hijau** dapat mendeteksi detak jantung menggunakan kamera biasa.

Prinsip Kerja:

1. Gunakan hanya kanal warna hijau dari kamera
2. Hitung rata-rata nilai piksel di area wajah
3. Perubahan nilai rata-rata = sinyal detak jantung

Kelebihan:

- Sangat sederhana
- Mudah dipahami
- Bekerja dengan baik di kondisi ideal

Kekurangan:

- Sensitif terhadap gerakan
- Perlu pencahayaan bagus
- Mudah terganggu bayangan

PCA (2011): Pemisahan Komponen

Ide Utama

Gunakan **analisis komponen utama** untuk memisahkan sinyal detak jantung dari gangguan.

Bagaimana PCA Bekerja?

1. Ambil sinyal dari tiga kanal warna (Merah, Hijau, Biru)
2. Cari pola yang paling dominan dalam sinyal
3. Pilih komponen dengan frekuensi seperti detak jantung

Analogi:

Seperti mendengarkan tiga suara sekaligus, lalu memilih suara yang paling keras dan teratur.

ICA (2010): Teknik Lebih Canggih

Independent Component Analysis

ICA dapat memisahkan sinyal yang **tercampur** menjadi sumber-sumber yang independen.

Prinsip ICA:

1. Anggap sinyal warna adalah campuran
2. Pisahkan menjadi komponen independen
3. Pilih komponen yang berhubungan dengan detak jantung

Perbedaan dengan PCA:

- ICA lebih baik untuk sinyal non-linear
- Dapat menangani berbagai sumber gangguan
- Lebih kompleks secara komputasi

CHROM (2013): Tahan Gerakan

Terobosan Penting

CHROM menggunakan **rasio krominansi** untuk mengurangi efek gerakan kepala.

Apa itu Krominansi?

1. Krominansi adalah informasi warna tanpa kecerahan
2. Gerakan kepala mengubah kecerahan, tapi tidak warna
3. Dengan fokus pada warna, gangguan gerakan berkurang

Mengapa Ini Penting?

Orang jarang duduk diam sempurna. CHROM membuat rPPG lebih praktis untuk penggunaan sehari-hari.

PBV (2014): Pola Khas Detak Jantung

Blood Volume Pulse Signature

Setiap detak jantung memiliki **pola khas** yang dapat dikenali.

Konsep PBV:

1. Detak jantung memiliki bentuk gelombang tertentu
2. Cari pola ini dalam sinyal video
3. Gunakan pola untuk memperkuat sinyal

Keuntungan:

- Lebih tahan terhadap gerakan
- Akurasi lebih tinggi
- Bekerja baik di berbagai kondisi

SSR & POS (2015-2016): Pendekatan Ruang

Spatial Subspace Rotation

SSR dan POS menggunakan **rotasi ruang warna** untuk ekstraksi sinyal yang lebih baik.

Ide Dasar:

1. Putar ruang warna RGB ke arah yang optimal
2. Proyeksikan sinyal ke arah detak jantung
3. Eliminasi arah yang mengandung noise

Analogi:

Seperti memutar kepala untuk mendengar suara dengan lebih jelas dari arah tertentu.

LGI (2018): rPPG di Dunia Nyata

Local Group Invariance

LGI dirancang untuk bekerja di **kondisi tidak terkontrol** seperti di luar ruangan.

Tantangan Dunia Nyata:

1. Pencahayaan berubah-ubah
2. Gerakan kepala tidak teratur
3. Bayangan dan refleksi

Solusi LGI:

- Gunakan informasi lokal dari wajah
- Kombinasikan dengan invarian grup
- Lebih robust terhadap variasi

HR-CNN & MTTS-CAN: Era Pembelajaran Mesin

Dari Aturan Manual ke **Pembelajaran Otomatis**

HR-CNN (2018):

- Jaringan saraf untuk estimasi detak jantung
- Belajar pola dari data video wajah

MTTS-CAN (2020):

- Multi-task learning: ukur detak jantung dan pernapasan
- Temporal shift attention untuk menangkap perubahan waktu
- Dapat berjalan di perangkat mobile

OMIT (2022): Pembelajaran Tanpa Supervisi

Face2PPG Pipeline

OMIT dapat belajar ekstraksi sinyal **tanpa data label** menggunakan pembelajaran tanpa supervisi.

Apa Artinya?

1. Tidak perlu data detak jantung sebenarnya untuk pelatihan
2. Model belajar sendiri pola dari video wajah
3. Lebih fleksibel dan dapat beradaptasi

Kelebihan:

- Tidak butuh data berlabel
- Lebih mudah diterapkan

Arah Masa Depan:

- Kombinasi dengan teknik lain
- Aplikasi real-time

Where to Look?

Video adalah Matriks 3 Dimensi

Konsep Dasar

Video bukan film, tetapi **susunan angka** dalam ruang 3 dimensi.

Tiga Dimensi Video:

1. Tinggi (Height): Jumlah baris piksel
2. Lebar (Width): Jumlah kolom piksel
3. Waktu (Time): Urutan frame video

Contoh:

- Video HD: 1920 x 1080 piksel
- 30 frame per detik
- 1 detik = 1920 x 1080 x 30 angka

Implikasi:

- Setiap piksel punya nilai warna
- Nilai berubah setiap frame
- Perubahan ini yang kita analisis

Tidak Semua Piksel Berguna

Fakta Penting

Kita **tidak memerlukan** seluruh gambar, hanya piksel yang mengandung sinyal detak jantung.

Piksel yang Berguna:

1. Kulit wajah (dahi, pipi)
2. Area dengan pembuluh darah
3. Permukaan yang rata

Pertanyaan Kunci:

Bagaimana kita memilih piksel yang tepat?

Piksel yang Tidak Berguna:

1. Latar belakang
2. Rambut
3. Mata dan gigi
4. Bayangan

Memilih Wilayah yang Tepat

Region of Interest (ROI)

Area dalam video yang mengandung
informasi detak jantung

Mengapa ROI Penting?

1. Mengurangi jumlah data yang diproses
2. Meningkatkan kualitas sinyal
3. Mempercepat komputasi
4. Mengurangi gangguan dari area tidak relevan

Langkah 1: Menemukan Wajah

Deteksi Wajah Otomatis

Gunakan pustaka standar seperti **OpenCV** atau **MediaPipe** untuk mendeteksi wajah secara otomatis.

Cara Kerja Deteksi Wajah:

1. Algoritma mencari pola khas wajah manusia
2. Menandai lokasi wajah dengan kotak pembatas
3. Memberikan koordinat posisi wajah

OpenCV:

- Metode klasik (Haar Cascade)
- Cepat dan ringan

MediaPipe:

- Berbasis deep learning
- Lebih akurat dan detail

Langkah 2: Memisahkan Kulit dari yang Lain

Segmentasi Kulit

Proses memilih **hanya piksel kulit** dan mengabaikan latar belakang, rambut, dan mata.

Mengapa Perlu Segmentasi?

1. Rambut tidak memiliki pembuluh darah
2. Mata bergerak dan reflektif
3. Latar belakang tidak relevan
4. Hanya kulit yang menunjukkan perubahan warna

Metode Segmentasi:

- Rentang warna kulit dalam ruang warna tertentu
- Pembelajaran mesin untuk klasifikasi piksel
- Kombinasi dengan deteksi tepi

Tantangan: Orang Bergerak!

Masalah Utama

Apa yang terjadi jika pengguna **menggerakkan kepala** saat video direkam?

Dampak Gerakan:

1. Posisi wajah berubah tiap frame
2. ROI tidak konsisten
3. Sinyal terdistorsi
4. Sulit membedakan gerakan dan detak jantung

Contoh Gerakan:

- Kepala mengangguk
- Wajah berputar
- Tubuh bergeser
- Ekspresi wajah berubah

Solusi: Pelacakan, Bukan Hanya Deteksi

Perbedaan Penting

Deteksi menemukan wajah setiap frame, **pelacakan** mengikuti wajah yang sama sepanjang video.

Mengapa Pelacakan Lebih Baik?

1. ROI tetap mengikuti wajah yang bergerak
2. Konsistensi piksel antar frame terjaga
3. Mengurangi kesalahan dari deteksi ulang
4. Lebih stabil untuk ekstraksi sinyal

Teknik Pelacakan:

- Optical flow untuk mengikuti gerakan
- Landmark wajah untuk stabilisasi
- Kalman filter untuk prediksi posisi

Masalah: Piksel Tunggal Sangat Noisy

Sensor kamera **tidak sempurna**

Setiap piksel memiliki noise acak

Sumber Noise pada Piksel:

1. Noise sensor kamera (thermal noise)
2. Ketidakstabilan listrik
3. Kompresi video
4. Gangguan pencahayaan

Fakta

Jika kita hanya melihat satu piksel, **noise lebih besar** daripada sinyal detak jantung.

Solusi: Rata-rata Spasial

Konsep Kunci

Jika kita **merata-ratakan semua piksel kulit**, noise acak akan saling menghilangkan, tetapi sinyal tetap bertahan.

Mengapa Ini Berhasil?

1. Noise pada setiap piksel adalah acak dan independen
2. Sinyal detak jantung tersinkronisasi di seluruh wajah
3. Rata-rata membatalkan noise, memperkuat sinyal

Analogi:

Seperti menanyakan waktu ke 100 orang dengan jam yang tidak akurat. Rata-rata jawaban lebih akurat daripada satu orang saja.

Hasil: Dari Video 3D ke Sinyal 1D

Transformasi Data

Video 3D (Tinggi x Lebar x Waktu) menjadi **tiga array 1D** sepanjang waktu.

Tiga Sinyal:

1. Jejak Merah (Red trace)
2. Jejak Hijau (Green trace)
3. Jejak Biru (Blue trace)

Setiap Jejak:

- Satu nilai per frame
- Rata-rata dari semua piksel ROI
- Berubah mengikuti waktu

Langkah Selanjutnya:

Bagaimana mengekstrak sinyal detak jantung dari tiga jejak warna ini?

From Video to Signals

Dari Sinyal Mentah ke Informasi Berguna

Kita punya tiga jejak warna,
tapi bagaimana mendapatkan
detak jantung dari angka-angka ini?

Tantangan

Sinyal mentah penuh dengan **gangguan** yang harus dibersihkan terlebih dahulu.

Melihat Sinyal RGB Mentah

Bayangkan Grafik Tiga Garis:

1. Garis Merah: Nilai rata-rata kanal merah sepanjang waktu
2. Garis Hijau: Nilai rata-rata kanal hijau sepanjang waktu
3. Garis Biru: Nilai rata-rata kanal biru sepanjang waktu

Pengamatan Penting

Ketiga garis ini bergerak naik-turun, tetapi **tidak semua gerakan** adalah detak jantung.

Yang Kita Cari:

Gelombang kecil yang berulang 60-100 kali per menit, bukan perubahan besar yang lambat.

Mengapa Kanal Hijau Paling Penting?

Fakta Fisika

Hemoglobin dalam darah **menyerap cahaya hijau** jauh lebih kuat daripada merah atau biru.

Kanal Hijau:

- Sinyal detak jantung paling kuat
- Perubahan terlihat jelas
- Lebih sensitif terhadap volume darah

Kanal Merah & Biru:

- Lebih banyak dipengaruhi pencahayaan
- Sinyal detak jantung lemah
- Lebih banyak noise

Kesimpulan:

Kanal hijau adalah "penyiar" sinyal detak jantung yang paling jelas.

Analogi: Menyetel Radio

Tiga kanal warna seperti
tiga stasiun radio berbeda

Kanal Hijau:

Stasiun dengan siaran musik jelas dan kuat

Kanal Merah:

Stasiun dengan banyak statis dan gangguan

Kanal Biru:

Stasiun dengan sinyal sangat lemah

Pilihan Logis

Kita akan fokus mendengarkan stasiun dengan **siaran paling jelas** (kanal hijau).

Masalah: Sinyal yang Melayang

Apa itu Drift?

Perubahan **lambat dan besar** dalam nilai sinyal yang bukan disebabkan oleh detak jantung.

Penyebab Drift:

1. Awan menutupi matahari (cahaya berkurang)
2. Orang bergeser di kursi (jarak ke kamera berubah)
3. Lampu berkedip atau meredup
4. Bayangan bergerak melintasi wajah

Dampak:

Sinyal detak jantung yang kecil "tertimbun" oleh perubahan besar yang lambat ini.

Bayangkan: Gelombang di Atas Bukit

Detak jantung = **riak air kecil**

Drift = **bukit besar yang naik-turun**

Masalah

Kita ingin melihat **riak airnya**, bukan bukitnya.

Tanpa Detrending:

- Riak kecil tidak terlihat
- Bukit terlalu dominan
- Sulit mengukur frekuensi

Dengan Detrending:

- Bukit dihilangkan
- Riak menjadi jelas
- Frekuensi mudah dihitung

Solusi: Detrending

Prinsip Detrending

Hitung **rata-rata bergerak** dari sinyal, lalu kurangkan dari sinyal asli.

Langkah-langkah:

1. Ambil 30 frame terakhir dari sinyal
2. Hitung nilai rata-rata dari 30 frame ini
3. Kurangkan nilai rata-rata dari sinyal saat ini
4. Ulangi untuk frame berikutnya

Hasil:

Kita mendapatkan sinyal yang hanya berisi perubahan cepat (detak jantung), tanpa perubahan lambat (drift).

Kita Tahu Batas Detak Jantung Manusia

Fakta Biologi

Jantung manusia tidak mungkin berdetak **3 kali per menit** atau **500 kali per menit**.

Batas Minimum:

- Detak jantung terendah: sekitar 40 BPM
- Setara dengan 0.67 Hz
- Lebih rendah = bukan detak jantung

Batas Maksimum:

- Detak jantung tertinggi: sekitar 240 BPM
- Setara dengan 4.0 Hz
- Lebih tinggi = artefak atau noise

Bandpass Filter: Penjaga Logis

Prinsip Kerja

Buang semua sinyal yang frekuensinya di luar rentang **0.67 Hz - 4.0 Hz**.

Apa yang Dibuang?

1. Frekuensi rendah (< 0.67 Hz): Drift, perubahan cahaya lambat
2. Frekuensi tinggi (> 4.0 Hz): Noise sensor, bayangan berkedip

Apa yang Tersisa?

Hanya sinyal dengan frekuensi yang masuk akal untuk detak jantung manusia.

Analogi

Seperti penjaga pintu yang hanya membiarkan tamu berusia 40-240 masuk, menolak bayi (terlalu muda) dan dinosaurus (terlalu tua).

Ringkasan: Tiga Langkah Pembersihan

Dari Video ke Detak Jantung:

1. **Pilih Kanal Hijau:** Sinyal paling kuat dari perubahan volume darah
2. **Detrending:** Hilangkan perubahan lambat (drift) dengan mengurangi rata-rata bergerak
3. **Bandpass Filter:** Buang frekuensi yang tidak mungkin dari jantung manusia (0.67-4.0 Hz)

Hasil Akhir

Sinyal **bersih** yang hanya berisi informasi detak jantung.

Langkah Selanjutnya:

Bagaimana menghitung frekuensi dari sinyal yang sudah bersih ini?

From Signal to Numbers

Tujuan Akhir: Menghitung Detak Jantung

Kita punya sinyal yang sudah bersih,
sekarang bagaimana menghitung
BPM (Beats Per Minute)?

Pertanyaan Kunci

Apakah kita hitung jumlah **puncak gelombang** dalam sinyal?

Jawaban: Tidak! Menghitung puncak rawan kesalahan karena noise kecil bisa terlihat seperti puncak.

Dua Cara Melihat Sinyal

Konsep Penting

Sinyal yang sama dapat dilihat dari dua sudut pandang berbeda: **domain waktu** dan **domain frekuensi**.

Domain Waktu:

1. Melihat bagaimana nilai berubah seiring waktu
2. Grafik nilai terhadap detik
3. Seperti membaca not balok satu per satu

Domain Frekuensi:

1. Melihat komponen frekuensi apa saja yang ada
2. Grafik kekuatan terhadap frekuensi
3. Seperti melihat equalizer di stereo

Analogi: Musik dan Equalizer

Domain Waktu = Membaca not balok

Domain Frekuensi = Melihat equalizer

Perbedaan Utama

Not balok menunjukkan **kapan** nada dimainkan, sedangkan equalizer menunjukkan **frekuensi mana** yang paling kuat.

Untuk Detak Jantung:

- Domain waktu: Sulit membedakan puncak asli dari noise
- Domain frekuensi: Mudah melihat frekuensi dominan

Mencari Frekuensi Dominan

Strategi Pintar

Cari frekuensi yang memiliki **kekuatan terbesar** dalam rentang 40-240 BPM. Itulah detak jantung!

Mengapa Ini Lebih Baik?

1. Tidak perlu menghitung puncak satu per satu
2. Lebih tahan terhadap noise kecil
3. Otomatis menemukan pola yang paling kuat
4. Lebih akurat dan stabil

Analogi:

Seperti mencari suara orang yang paling keras berbicara di ruangan ramai, bukan menghitung berapa kali dia menggerakkan bibir.

Transformasi Fourier: Pengurai Ajaib

Analogi Smoothie

Bayangkan smoothie campuran buah. Transformasi Fourier seperti mesin yang bisa **memisahkan kembali** pisang, stroberi, dan mangga dari smoothie!

Input:

- Sinyal kompleks (smoothie)
- Campuran berbagai frekuensi
- Sulit dianalisis langsung

Output:

- Daftar frekuensi (bahan)
- Kekuatan masing-masing frekuensi
- Mudah menemukan yang dominan

Mencari "Bahan Terbanyak" dalam Sinyal

Langkah Sederhana

Setelah mengurai sinyal, cari **frekuensi dengan nilai tertinggi** dalam rentang 40-240 BPM.

Proses:

1. Transformasi Fourier mengurai sinyal menjadi frekuensi-frekuensi
2. Setiap frekuensi punya "tinggi" (kekuatan)
3. Kita hanya lihat frekuensi antara 0.67-4.0 Hz (40-240 BPM)
4. Frekuensi tertinggi = detak jantung

Hasil:

Misalnya frekuensi tertinggi ada di 1.2 Hz \rightarrow Detak jantung = $1.2 \times 60 = 72$ BPM

Masalah: Butuh Waktu untuk Menghitung

Fakta Penting

Kita **tidak bisa** menghitung detak jantung dari satu frame saja. Perlu beberapa detik video!

Mengapa Perlu Waktu?

1. Satu frame terlalu singkat
2. Butuh beberapa siklus detak
3. Biasanya 5-10 detik

Analogi:

Seperti menghitung kecepatan mobil, perlu melihat jarak yang ditempuh dalam waktu tertentu, bukan posisi sesaat.

Konsep Jendela:

- Ambil 10 detik terakhir video
- Hitung BPM dari segmen ini
- Ini disebut "jendela waktu"

Jendela Geser: Update Setiap Detik

Sliding Window

Hitung detak jantung setiap detik menggunakan **10 detik terakhir** dari video.

Cara Kerja:

1. Detik ke-10: Hitung BPM dari detik 0-10
2. Detik ke-11: Hitung BPM dari detik 1-11
3. Detik ke-12: Hitung BPM dari detik 2-12
4. Dan seterusnya...

Keuntungan:

- Update hasil setiap detik
- Responsif terhadap perubahan

Pertimbangan:

- Hasil lebih halus
- Delay minimal (10 detik)

Real World Implementation

Mengapa rPPG Belum Ada di Setiap Aplikasi?

**Teknologi sudah ada sejak 2008,
tapi mengapa tidak semua aplikasi kesehatan
menggunakan rPPG?**

Tantangan Utama

Ada beberapa **hambatan teknis** yang membuat rPPG sulit diterapkan di kehidupan sehari-hari.

Musuh Terbesar: Artefak Gerakan

Pertanyaan Kunci

Apa yang terjadi jika saya **menganggukkan kepala** saat video direkam?

Dampak Gerakan Kepala:

1. Bayangan bergerak di wajah
2. Pencahayaan berubah drastis
3. Posisi wajah terhadap kamera berubah
4. Refleksi cahaya berubah

Masalah Serius:

Perubahan cahaya akibat bayangan **100 kali lebih kuat** daripada perubahan akibat detak jantung!

Analogi:

Seperti mencoba mendengar bisikan di tengah badai petir.

Skala Perbandingan: Sinyal vs Artefak Gerakan

Sinyal Detak Jantung: 0.1 piksel

Artefak Gerakan: 10 piksel

(Perbandingan 1:100)

Mengapa Gerakan Begitu Kuat?

1. Bayangan mengubah kecerahan secara drastis
2. Gerakan kepala mengubah pantulan cahaya
3. Perubahan sudut pandang kamera
4. Efek ini jauh lebih besar dari perubahan darah

Solusi: Blind Source Separation

Konsep Kunci

Gunakan ketiga kanal warna RGB untuk secara matematis **memisahkan** sinyal gerakan dari sinyal darah.

Bagaimana Ini Bekerja?

1. Gerakan kepala memengaruhi ketiga kanal RGB secara bersamaan
2. Perubahan darah memengaruhi kanal hijau lebih kuat
3. Dengan membandingkan ketiga kanal, kita bisa memisahkan kedua efek ini

Metode BSS:

- ICA (Independent Component Analysis)
- CHROM (Chrominance-based method)
- POS (Plane-Orthogonal-to-Skin)

Analogi:

Seperti memisahkan suara dua orang yang bicara bersamaan dengan mendengar dari dua mikrofon berbeda.

Tantangan: Keragaman Warna Kulit

Masalah Inklusivitas

Teknologi rPPG bekerja **lebih baik** pada kulit terang daripada kulit gelap. Mengapa?

Peran Melanin:

1. Melanin adalah pigmen yang membuat kulit gelap
2. Melanin menyerap lebih banyak cahaya secara umum
3. Ini menurunkan rasio sinyal terhadap noise
4. Perubahan akibat darah lebih sulit dideteksi

Kulit Terang:

- Sinyal lebih kuat
- Noise relatif lebih kecil
- Lebih mudah dideteksi

Kulit Gelap:

- Sinyal lebih lemah
- Noise relatif lebih besar
- Butuh teknologi lebih baik

Menuju Teknologi yang Lebih Inklusif

Dua Pendekatan Utama:

1. **Kamera Lebih Baik:** Sensor dengan sensitivitas tinggi dan noise rendah
2. **Algoritma Lebih Cerdas:** Pembelajaran mendalam (Deep Learning) yang dilatih dengan beragam warna kulit

Pentingnya Keberagaman Data

Model pembelajaran mesin harus dilatih dengan data dari **berbagai warna kulit** untuk menghindari bias.

Penelitian Terkini:

- Dataset beragam
- Algoritma adaptif
- Preprocessing khusus

Harapan Masa Depan:

- Akurasi setara untuk semua
- Teknologi yang adil
- Aplikasi universal

Ringkasan: Perjalanan dari Video ke BPM

Pipeline Lengkap rPPG:

1. **Video** → Rekam wajah dengan kamera
2. **Face Detection** → Temukan dan lacak wajah
3. **Spatial Average** → Rata-rata piksel kulit untuk mengurangi noise
4. **Detrending & Filter** → Bersihkan sinyal dari drift dan frekuensi tidak relevan
5. **FFT** → Ubah ke domain frekuensi
6. **Peak Detection** → Temukan frekuensi dominan
7. **BPM** → Konversi frekuensi menjadi detak per menit

Pertanyaan?

Silakan ajukan pertanyaan tentang materi yang sudah kita bahas!