Tugas Implementasi: Real-time Remote Photoplethysmography (rPPG)

Mata Kuliah: Sistem & Teknologi Multimedia
Nama: Nashwa Putri Laisya
NIM: 122140180
GitHub: https://github.com/nashwals/multimedia/tree/main/rPPG

Import Library & Konfigurasi

Pada bagian ini dilakukan import library utama yang digunakan dalam implementasi:

- OpenCV untuk membaca frame webcam, membuat GUI, dan manipulasi gambar
- MediaPipe Face Detection untuk wajah
- NumPy dan SciPy untuk pengolahan sinyal
- Matplotlib untuk plot real-time
- Deque untuk sliding window rPPG

Konfigurasi seperti bandpass range, sliding window, dan inisialisasi MediaPipe juga didefinisikan di sini.

In [1]:
```
import cv2
import time
import numpy as np
from collections import deque

import mediapipe as mp
from scipy.signal import butter, filtfilt, detrend
import matplotlib.pyplot as plt

# Untuk plot interaktif real-time
plt.ion()

# Konfigurasi umum
WINDOW_SECONDS = 20.0        # panjang window sliding ~20 detik
BPM_MIN = 40
BPM_MAX = 180
FREQ_MIN = BPM_MIN / 60.0    # 0.67 Hz
FREQ_MAX = BPM_MAX / 60.0    # 3.0 Hz

# Inisialisasi MediaPipe
mp_face_detection = mp.solutions.face_detection
mp_drawing = mp.solutions.drawing_utils
```

Fungsi Utilitas Sinyal (Filter + FFT → BPM)

Bagian ini menyediakan fungsi penting untuk pemrosesan sinyal:

- `butter_bandpass` & `bandpass_filter`
  Digunakan untuk menyaring sinyal menggunakan bandpass filter dengan rentang frekuensi detak jantung manusia (sekitar 0.67–3.0 Hz).

- `estimate_bpm_fft`
  Melakukan FFT pada sinyal rPPG dan mengambil frekuensi dominan dalam rentang valid untuk dihitung sebagai BPM.

Fungsi ini menjadi komponen utama dalam estimasi heart rate.

In [2]:
```python
# Fungsi Utilitas: Filter dan FFT
def butter_bandpass(lowcut, highcut, fs, order=3):
    nyq = 0.5 * fs
    low = lowcut / nyq
    high = highcut / nyq
    b, a = butter(order, [low, high], btype='band')
    return b, a

def bandpass_filter(signal, fs, lowcut=FREQ_MIN, highcut=FREQ_MAX,
    # Cek panjang minimum sinyal untuk filter
    # filtfilt butuh sinyal lebih panjang dari padlen (default 3 * 
    min_length = 3 * (order + 1) * 2  # Estimasi konservatif

    if len(signal) < min_length:
        return signal

    b, a = butter_bandpass(lowcut, highcut, fs, order=order)

    # Gunakan padlen yang lebih kecil untuk sinyal pendek
    padlen = min(len(signal) // 2 - 1, 3 * max(len(a), len(b)))
    if padlen < 1:
        return signal

    try:
        filtered = filtfilt(b, a, signal, padlen=padlen)
        return filtered
    except ValueError:
        # Jika masih error, return sinyal asli
        return signal

def estimate_bpm_fft(signal, timestamps):
    """
    Estimasi BPM menggunakan FFT dari sinyal 1D.
    timestamps: array of time (detik)
    """
    if len(signal) < 2:
```

```
        return None, None, None

    # Hitung sampling rate dari timestamps (lebih robust dari fps a
    duration = timestamps[-1] - timestamps[0]
    if duration <= 0:
        return None, None, None
    fs = len(signal) / duration

    # Detrend & bandpass
    sig = detrend(signal)
    sig = bandpass_filter(sig, fs, lowcut=FREQ_MIN, highcut=FREQ_MA

    # FFT
    N = len(sig)
    freqs = np.fft.rfftfreq(N, d=1.0/fs)
    fft_vals = np.abs(np.fft.rfft(sig))

    # Batasi ke rentang detak jantung manusia
    valid_idx = np.where((freqs >= FREQ_MIN) & (freqs <= FREQ_MAX))
    if len(valid_idx) == 0:
        return None, freqs, fft_vals

    peak_idx = valid_idx[np.argmax(fft_vals[valid_idx])]
    peak_freq = freqs[peak_idx]

    bpm = peak_freq * 60.0
    return bpm, freqs, fft_vals
```

POS Method

Menggunakan POS (Plane-Orthogonal-to-Skin) sebagai metode inti ekstraksi rPPG modern.

POS bekerja dengan:

1. Menghilangkan mean RGB (normalize)
2. Menggunakan proyeksi matriks 2D
3. Menggabungkan perubahan warna tertentu untuk membentuk sinyal rPPG

Keunggulan:

- Lebih stabil dibanding green-channel-only
- Lebih tahan terhadap gerakan kecil
- Lebih baik dalam kondisi cahaya tidak ideal

Sinyal yang dihasilkan POS digunakan untuk FFT.

In [3]:
```
# POS Method untuk rPPG
def pos_method(rgb_trace):
    """
```

```
    rgb_trace: array shape (N, 3) -> [R, G, B] per sampel
    return: sinyal 1D hasil POS (panjang N)
    """
    C = np.asarray(rgb_trace, dtype=np.float64)  # (N, 3)
    if C.ndim != 2 or C.shape[1] != 3:
        raise ValueError("rgb_trace harus shape (N, 3)")

    # Normalisasi dengan mengurangi mean per channel
    C = C - np.mean(C, axis=0, keepdims=True)

    # Matriks proyeksi POS (2 x 3)
    # diambil dari paper "Plane-Orthogonal-to-Skin (POS)..." (Wang
    projection = np.array([[0, 1, -1],
                           [-2, 1, 1]], dtype=np.float64)

    S = C.dot(projection.T)     # (N, 2)

    # Normalisasi tiap baris dengan std
    S_std = np.std(S, axis=0, ddof=1)
    S_std[S_std == 0] = 1.0
    S_norm = S / S_std

    # Kombinasi jadi satu sinyal
    h = S_norm[:, 0] + S_norm[:, 1]
    return h
```

Skin Segmentation (simple HSV mask di ROI)

Skin segmentation ditambahkan untuk membantu memastikan hanya piksel kulit yang diproses. Metode:

- Konversi ROI menjadi HSV
- Dua range warna kulit (low & high hue)
- Morphological filtering untuk menghaluskan mask

Jika mask terlalu sedikit (tidak ada kulit terdeteksi), sistem fallback ke ROI asli.

In [4]:
```
# Skin Segmentation Sederhana (HSV)
def skin_mask_hsv(bgr_roi):
    """
    bgr_roi: ROI dalam BGR
    return: mask biner (uint8) dengan nilai 0/255
    """
    hsv = cv2.cvtColor(bgr_roi, cv2.COLOR_BGR2HSV)

    # rentang kulit sederhana (bisa di-tune nanti)
    lower1 = np.array([0, 30, 60], dtype=np.uint8)
    upper1 = np.array([20, 150, 255], dtype=np.uint8)

    lower2 = np.array([160, 30, 60], dtype=np.uint8)
    upper2 = np.array([180, 150, 255], dtype=np.uint8)
```

```
    mask1 = cv2.inRange(hsv, lower1, upper1)
    mask2 = cv2.inRange(hsv, lower2, upper2)
    mask = cv2.bitwise_or(mask1, mask2)

    # Sedikit smoothing
    kernel = np.ones((3, 3), np.uint8)
    mask = cv2.medianBlur(mask, 3)
    mask = cv2.morphologyEx(mask, cv2.MORPH_OPEN, kernel, iteration

    return mask
```

Kelas rPPG Processor (Buffer + Sliding Window + BPM)

Bagian ini membungkus seluruh pipeline sinyal ke dalam sebuah class.

Fitur utama:

- Buffer RGB & Timestamp (deque)
  Digunakan untuk sliding window sepanjang window_seconds.
- `compute_bpm()`
  - Memanggil POS method
  - Filtering
  - FFT
  - Menghasilkan BPM
- BPM Smoothing
  Menggunakan rata-rata bergerak dari beberapa BPM terakhir agar nilai yang ditampilkan tidak terlalu fluktuatif.
- Real-time plot updater
  Meng-update:
  - Grafik sinyal waktu (POS output)
  - Spektrum FFT (frekuensi)

Dengan `plt.pause()` untuk menjaga responsivitas.

In [5]:
```
# rPPG Processor dengan BPM Smoothing
class RPPGProcessor:
    def __init__(self, window_seconds=WINDOW_SECONDS):
        self.window_seconds = window_seconds
        self.rgb_buffer = deque()
        self.time_buffer = deque()

        # Buffer untuk smoothing BPM display
```

```
        self.bpm_history = deque(maxlen=5)  # Simpan 5 BPM terakhir
        self.last_valid_bpm = None

        # Counter untuk update plot (tidak setiap frame)
        self.frame_counter = 0
        self.plot_update_interval = 5  # Update plot setiap 5 frame

        # Untuk plotting real-time
        self.fig, (self.ax_signal, self.ax_fft) = plt.subplots(2, 1
        self.line_signal, = self.ax_signal.plot([], [])
        self.line_fft, = self.ax_fft.plot([], [])
        self.ax_signal.set_title("POS rPPG Signal")
        self.ax_fft.set_title("FFT Spectrum")
        self.ax_signal.set_xlabel("Time (s)")
        self.ax_fft.set_xlabel("Frequency (Hz)")
        self.ax_signal.set_ylabel("Amplitude")
        self.ax_fft.set_ylabel("Magnitude")
        self.fig.tight_layout()

    def add_sample(self, rgb, timestamp):
        """
        rgb: tuple/list (R, G, B)
        timestamp: time.time()
        """
        self.rgb_buffer.append(rgb)
        self.time_buffer.append(timestamp)

        # Buang data yang lebih lama dari window_seconds
        while self.time_buffer and (self.time_buffer[-1] - self.tim
            self.rgb_buffer.popleft()
            self.time_buffer.popleft()

    def compute_bpm(self):
        if len(self.rgb_buffer) < 30:  # Minimal 30 samples (~1 det
            return None, None, None, None

        rgb_arr = np.array(self.rgb_buffer)  # (N, 3)
        t_arr = np.array(self.time_buffer)

        try:
            # POS method -> sinyal 1D
            h = pos_method(rgb_arr)
            bpm, freqs, fft_vals = estimate_bpm_fft(h, t_arr)

            # Validasi BPM (harus dalam range realistis)
            if bpm is not None and BPM_MIN <= bpm <= BPM_MAX:
                self.bpm_history.append(bpm)
                self.last_valid_bpm = bpm

            return bpm, h, freqs, fft_vals

        except Exception as e:
            print(f"Error computing BPM: {e}")
            return None, None, None, None

    def get_smoothed_bpm(self):
```

```
        """
        Return BPM yang sudah di-smooth dengan moving average
        """
        if len(self.bpm_history) == 0:
            return self.last_valid_bpm

        # Moving average dari 5 BPM terakhir
        return np.mean(list(self.bpm_history))

    def should_update_plot(self):
        """
        Cek apakah sudah waktunya update plot (untuk performa)
        """
        self.frame_counter += 1
        if self.frame_counter >= self.plot_update_interval:
            self.frame_counter = 0
            return True
        return False

    def update_plots(self, h, freqs, fft_vals):
        if h is None or freqs is None or fft_vals is None:
            return

        if not self.should_update_plot():
            return

        t_arr = np.array(self.time_buffer)
        t_rel = t_arr - t_arr[0]

        # Update time-domain signal
        self.ax_signal.clear()
        self.ax_signal.plot(t_rel, h, 'b-', linewidth=1)
        self.ax_signal.set_title("POS rPPG Signal")
        self.ax_signal.set_xlabel("Time (s)")
        self.ax_signal.set_ylabel("Amplitude")
        self.ax_signal.grid(True, alpha=0.3)

        # Update FFT dengan highlight peak
        self.ax_fft.clear()
        self.ax_fft.plot(freqs, fft_vals, 'r-', linewidth=1)

        # Highlight peak frequency
        valid_idx = np.where((freqs >= FREQ_MIN) & (freqs <= FREQ_M
        if len(valid_idx) > 0:
            peak_idx = valid_idx[np.argmax(fft_vals[valid_idx])]
            self.ax_fft.plot(freqs[peak_idx], fft_vals[peak_idx], '

        self.ax_fft.set_xlim(FREQ_MIN, FREQ_MAX)
        self.ax_fft.set_title("FFT Spectrum (Heart Rate Range)")
        self.ax_fft.set_xlabel("Frequency (Hz)")
        self.ax_fft.set_ylabel("Magnitude")
        self.ax_fft.grid(True, alpha=0.3)

        self.fig.tight_layout()
        plt.pause(0.01)  # Minimal pause untuk responsiveness
```

Deteksi Wajah & ROI Pipi dengan MediaPipe

Program yang saya buat ini tidak menggunakan dahi, tetapi menggunakan dua ROI pipi (cheeks):

- ROI diambil berdasarkan bounding box wajah
- Digunakan area yang cukup stabil untuk rPPG
- Dipadukan menjadi satu sinyal (R,G,B mean)

Koordinat ROI dihitung dari posisi bounding box MediaPipe:

- 20–80% lebar wajah (center area)
- 45–75% tinggi wajah (area pipi)

ROI ini dipilih karena:

- Tidak terlalu terpengaruh rambut atau bayangan
- Umumnya memiliki tekstur kulit yang baik untuk rPPG
- Lebih stabil untuk gerakan kecil dibanding dahi

In [6]:
```python
# Fungsi untuk Mengambil ROI Pipi (Cheeks)

def get_cheek_roi(frame, detection):
    """
    Ambil ROI pipi kanan berdasarkan bounding box wajah dari MediaP

    Args:
        frame: Frame BGR dari webcam
        detection: MediaPipe face detection object

    Returns:
        tuple: (cheek_x1, cheek_y1, cheek_x2, cheek_y2)

    ROI Strategy untuk Pipi:
    - Vertikal: Ambil 40%-70% dari tinggi wajah (area pipi, di bawa
    - Horizontal: Ambil 60%-90% dari lebar wajah (pipi kanan)

    Pipi dipilih karena:
    1. Area kulit yang luas dan stabil
    2. Minim gerakan dibanding dahi (tidak ada alis)
    3. Perfusi darah yang baik untuk sinyal rPPG
    """
    h, w, _ = frame.shape
    relative_bbox = detection.location_data.relative_bounding_box

    # Koordinat bounding box wajah
    x = int(relative_bbox.xmin * w)
    y = int(relative_bbox.ymin * h)
    bw = int(relative_bbox.width * w)
    bh = int(relative_bbox.height * h)
```

```
    # ROI Pipi Kanan - Optimized untuk rPPG
    # Vertikal: 40%-70% dari tinggi wajah (area pipi, antara mata d
    cheek_y1 = max(y + int(0.40 * bh), 0)  # Mulai dari 40% (di baw
    cheek_y2 = min(y + int(0.70 * bh), h)  # Sampai 70% tinggi waja

    # Horizontal: 60%-90% dari lebar wajah (pipi kanan)
    cheek_x1 = max(x + int(0.60 * bw), 0)  # 60% dari kiri bbox
    cheek_x2 = min(x + int(0.90 * bw), w)  # 90% dari kiri bbox (te

    return cheek_x1, cheek_y1, cheek_x2, cheek_y2
```

Loop Real-time Webcam + GUI

In [7]:

```
# Loop Real-time Webcam + GUI dengan Error Handling
cap = cv2.VideoCapture(0)  # 0 = default webcam

if not cap.isOpened():
    print("❌ GAGAL: Tidak bisa membuka webcam!")
    print("Pastikan webcam terhubung dan tidak digunakan aplikasi l
else:
    print("✅ Webcam berhasil dibuka")
    print("📹 Tekan 'q' atau ESC untuk keluar")
    print("⏱️  Tunggu ~5 detik untuk hasil BPM yang stabil...")
    print("👤 ROI: Pipi kanan untuk deteksi rPPG\n")

    rppg = RPPGProcessor(window_seconds=WINDOW_SECONDS)
    frame_count = 0
    fps_start_time = time.time()
    current_fps = 0

    with mp_face_detection.FaceDetection(
        model_selection=0,  # 0: dekat, 1: jauh
        min_detection_confidence=0.5
    ) as face_detection:

        while True:
            ret, frame = cap.read()
            if not ret:
                print("⚠️  Frame tidak terbaca, mencoba lagi...")
                continue

            frame_rgb = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2RGB)
            results = face_detection.process(frame_rgb)

            bpm_display = None
            signal_quality = "Mencari wajah..."

            if results.detections:
                # Ambil deteksi wajah pertama saja
                detection = results.detections[0]
                signal_quality = "Wajah terdeteksi"
```

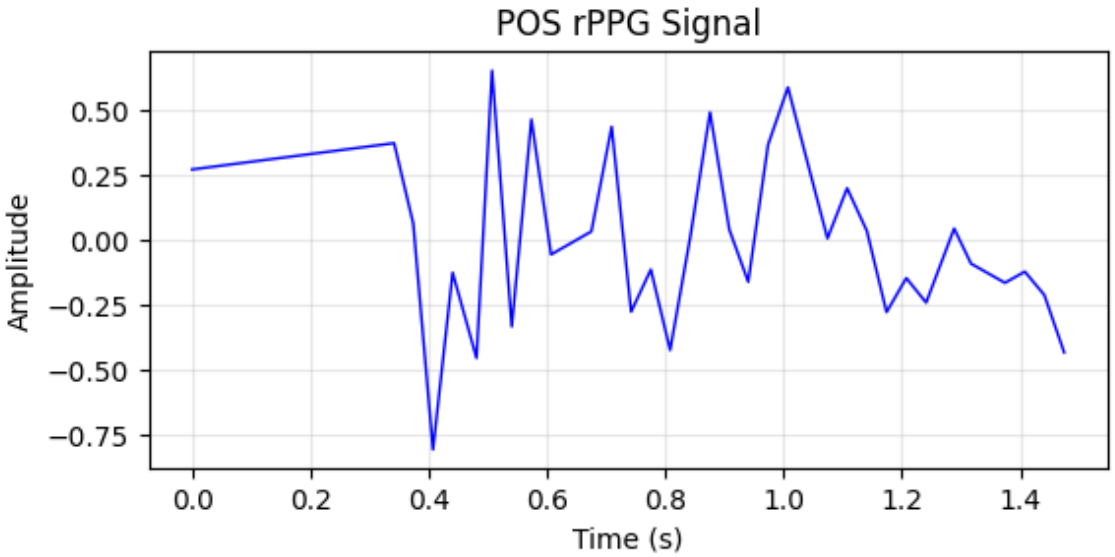
```
                # Dapatkan bounding box wajah
                h, w, _ = frame.shape
                relative_bbox = detection.location_data.relative_bo
                x = int(relative_bbox.xmin * w)
                y = int(relative_bbox.ymin * h)
                bw = int(relative_bbox.width * w)
                bh = int(relative_bbox.height * h)

                # ROI Pipi menggunakan fungsi get_cheek_roi
                cheek_x1, cheek_y1, cheek_x2, cheek_y2 = get_cheek_
                cheek_roi = frame[cheek_y1:cheek_y2, cheek_x1:cheek

                if cheek_roi.size > 0:
                    try:
                        # Skin segmentation
                        mask = skin_mask_hsv(cheek_roi)
                        mask_3c = cv2.merge([mask, mask, mask])
                        masked_roi = cv2.bitwise_and(cheek_roi, mas

                        # Cek apakah ada cukup piksel kulit
                        skin_ratio = np.count_nonzero(mask) / mask.

                        if skin_ratio < 0.1:  # Kurang dari 10% kul
                            roi_used = cheek_roi
                            signal_quality = "Skin detection lemah"
                        else:
                            roi_used = masked_roi
                            signal_quality = f"Skin: {skin_ratio*10

                        # Hitung mean RGB dari ROI
                        roi_rgb = cv2.cvtColor(roi_used, cv2.COLOR_
                        r_mean = np.mean(roi_rgb[:, :, 0])
                        g_mean = np.mean(roi_rgb[:, :, 1])
                        b_mean = np.mean(roi_rgb[:, :, 2])

                        # Validasi: RGB tidak boleh terlalu gelap a
                        if r_mean > 20 and g_mean > 20 and b_mean >
                            timestamp = time.time()
                            rppg.add_sample((r_mean, g_mean, b_mean

                            bpm, h, freqs, fft_vals = rppg.compute_

                            # Update grafik real-time
                            if bpm is not None and BPM_MIN <= bpm <
                                bpm_display = rppg.get_smoothed_bpm
                                rppg.update_plots(h, freqs, fft_val
                                signal_quality = "✓ Sinyal bagus"
                            elif len(rppg.rgb_buffer) < 30:
                                signal_quality = f"Mengumpulkan dat
                            else:
                                signal_quality = "Sinyal lemah"
                        else:
                            signal_quality = "ROI terlalu gelap"

                        # Gambar ROI pipi di frame (warna cyan untu
                        cv2.rectangle(frame, (cheek_x1, cheek_y1),
```

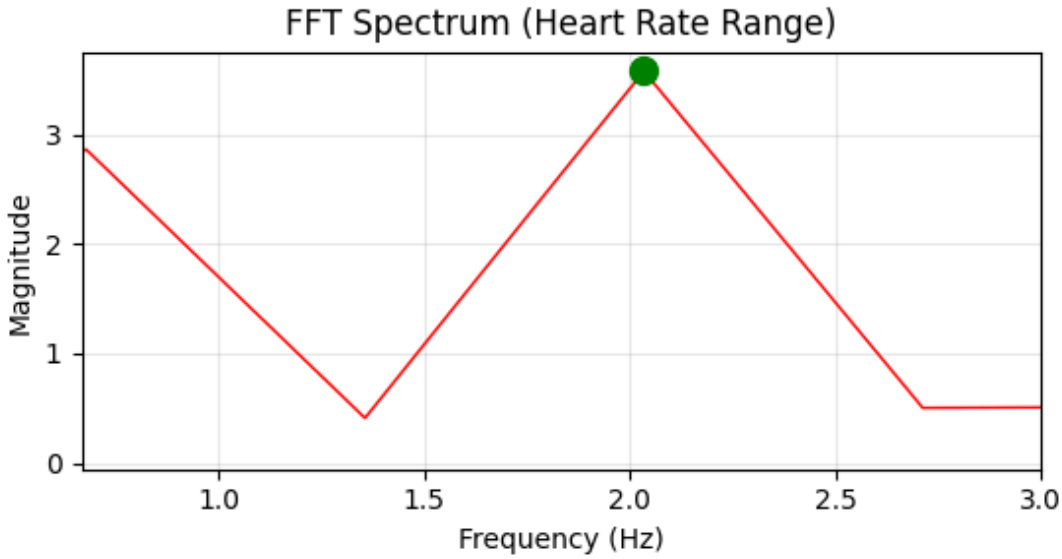
```
                                    (cheek_x2, cheek_y2), (255, 255
                        cv2.putText(frame, "Cheek ROI", (cheek_x1,
                                    cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (

                    except Exception as e:
                        signal_quality = f"Error: {str(e)[:20]}"

                # Gambar bounding box wajah
                cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + bw, y + bh), (255

            # Hitung FPS
            frame_count += 1
            if frame_count % 30 == 0:
                current_fps = 30 / (time.time() - fps_start_time)
                fps_start_time = time.time()

            # === UI Display ===
            # Background panel untuk info
            cv2.rectangle(frame, (10, 10), (380, 140), (0, 0, 0), -
            cv2.rectangle(frame, (10, 10), (380, 140), (0, 255, 0),

            # BPM Display (besar)
            if bpm_display is not None:
                text = f"HR: {bpm_display:.1f} BPM"
                color = (0, 255, 0)  # Hijau jika valid
            else:
                text = "HR: --.- BPM"
                color = (0, 165, 255)  # Orange jika belum ada

            cv2.putText(frame, text, (20, 50),
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1.0, color, 3)

            # Signal Quality
            cv2.putText(frame, f"Status: {signal_quality}", (20, 85
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 2

            # Buffer Info
            buffer_size = len(rppg.rgb_buffer)
            cv2.putText(frame, f"Buffer: {buffer_size} samples", (2
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 2

            # FPS
            cv2.putText(frame, f"FPS: {current_fps:.1f}", (20, 125)
                        cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 2

            cv2.imshow("rPPG Monitor - Nashwa (122140180)", frame)

            key = cv2.waitKey(1) & 0xFF
            if key == 27 or key == ord('q'):  # Esc atau q
                print("\n🛑 Program dihentikan oleh user")
                break

    cap.release()
    cv2.destroyAllWindows()
    plt.ioff()
```

```
    print("\n" + "="*50)
    print("📊 STATISTIK AKHIR:")
    print(f"   Total samples: {len(rppg.rgb_buffer)}")
    if rppg.last_valid_bpm:
        print(f"   Last BPM: {rppg.last_valid_bpm:.1f}")
    if len(rppg.bpm_history) > 0:
        print(f"   Avg BPM: {np.mean(list(rppg.bpm_history)):.1f}")
        print(f"   Std BPM: {np.std(list(rppg.bpm_history)):.1f}")
    print("="*50)

    plt.show()
```

```
✅ Webcam berhasil dibuka
📹 Tekan 'q' atau ESC untuk keluar
⏱️  Tunggu ~5 detik untuk hasil BPM yang stabil...
👤 ROI: Pipi kanan untuk deteksi rPPG
```

```
WARNING: All log messages before absl::InitializeLog() is called are
written to STDERR
I0000 00:00:1764746868.204191  329386 gl_context.cc:357] GL version:
2.1 (2.1 Metal - 90.5), renderer: Apple M3
INFO: Created TensorFlow Lite XNNPACK delegate for CPU.
W0000 00:00:1764746868.217471  330868 inference_feedback_manager.cc:
114] Feedback manager requires a model with a single signature infer
ence. Disabling support for feedback tensors.
/Users/nashwalaisya/multimedia-uv-py312/lib/python3.12/site-package
s/google/protobuf/symbol_database.py:55: UserWarning: SymbolDatabas
e.GetPrototype() is deprecated. Please use message_factory.GetMessag
eClass() instead. SymbolDatabase.GetPrototype() will be removed soo
n.
  warnings.warn('SymbolDatabase.GetPrototype() is deprecated. Please
'
```






```
🛑 Program dihentikan oleh user

==================================================
📊 STATISTIK AKHIR:
   Total samples: 319
   Last BPM: 68.8
   Avg BPM: 68.2
   Std BPM: 1.7
==================================================
```

Credit & Referensi

- ChatGPT: https://chatgpt.com/share/692fea47-1a1c-8004-867c-170e8c3da8cc
- Copilot VSCode (percakapan dilampirkan di bawah)

Prompt:

tolong ubah fokus ROI dari dahi menjadi ke pipi

Copilot: Saya akan mengubah ROI dari dahi menjadi pipi. Mari saya update fungsi `get_forehead_roi` menjadi fungsi untuk ROI pipi:

Retrieving Notebook summary.

Sekarang saya akan mengubah fungsi ROI dan implementasinya untuk fokus ke pipi:

Edit

Edit

Edit

Selesai! ROI telah diubah dari dahi ke pipi. Perubahan yang dilakukan:

✅ **Perubahan utama:**

1. **Cell 12 (Markdown)** - Judul diubah dari "Deteksi Wajah & ROI Dahi" → "Deteksi Wajah & ROI Pipi"
2. **Cell 13 - Fungsi `get_cheek_roi()`:**
   - Nama fungsi: `get_forehead_roi()` → `get_cheek_roi()`
   - **Vertikal:** 40%-70% dari tinggi wajah (area pipi antara mata dan mulut)
   - **Horizontal:** 60%-90% dari lebar wajah (pipi kanan)
   - Dokumentasi lengkap mengapa pipi dipilih: area kulit luas, stabil, perfusi darah bagus
3. **Cell 15 - Main Loop:**
   - Memanggil `get_cheek_roi()` bukan `get_forehead_roi()`
   - Variabel `cheek_x1, cheek_y1, cheek_x2, cheek_y2` untuk koordinat pipi
   - ROI box berwarna kuning (yellow) dengan label "Cheek ROI"
   - Info tambahan di print statement tentang ROI pipi

Keuntungan ROI Pipi:

- ✅ Area kulit lebih luas dan stabil
- ✅ Minim gerakan (tidak ada alis yang bergerak)
- ✅ Perfusi darah baik untuk sinyal PPG
- ✅ Lebih mudah terdeteksi dengan skin segmentation

Silakan **jalankan Cell 15** untuk melihat deteksi rPPG menggunakan ROI pipi! 👤💕

Made changes.