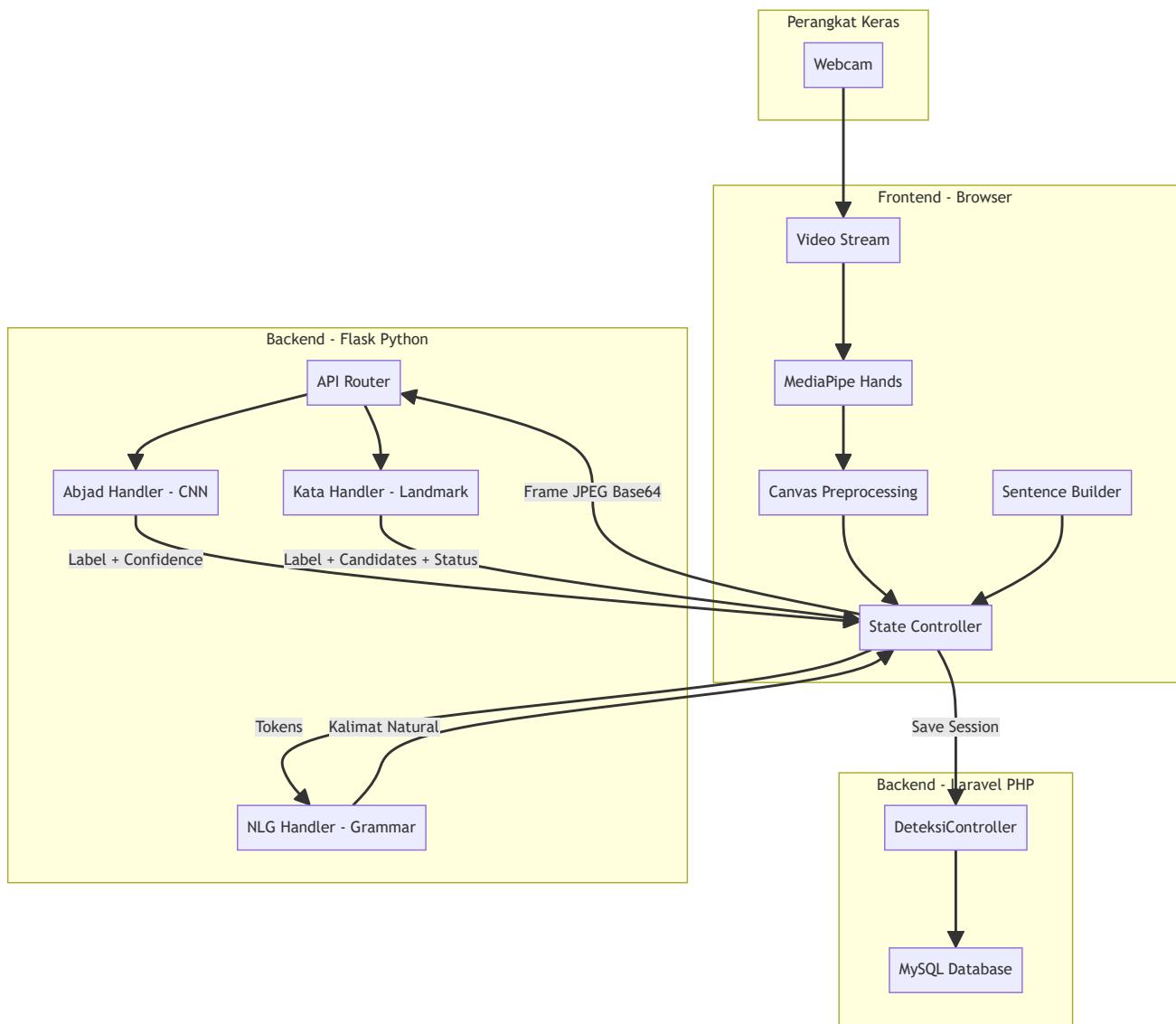


Dokumentasi Arsitektur Mode Kalimat

Dokumen teknis lengkap arsitektur **Mode Kalimat** pada sistem Deteksi BISINDO. Disusun untuk kebutuhan skripsi.

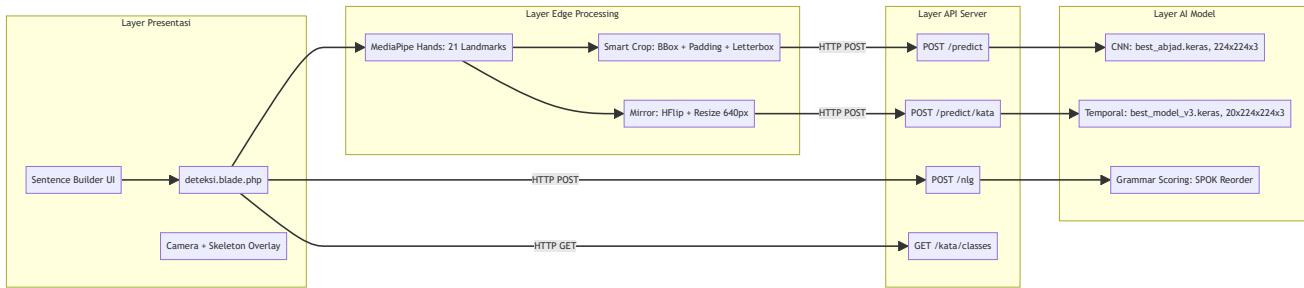
1. Diagram Blok Sistem



Penjelasan Komponen:

| Komponen | Teknologi | Peran |
|----------------------|-------------------------|---|
| Webcam | getUserMedia API | Menangkap video stream real-time |
| MediaPipe Hands | TensorFlow.js | Melacak 21 titik landmark tangan di browser |
| Canvas Preprocessing | HTML5 Canvas API | Smart Crop, Mirroring, konversi Base64 |
| State Controller | JavaScript | Logika switching pipeline Abjad dan Kata |
| Sentence Builder | HTML + JavaScript | UI penyusun kalimat dari kata dan ejan |
| DeteksiController | Laravel PHP | Halaman dan penyimpanan sesi latihan |
| API Router | Flask Python | Distribusi request ke handler yang sesuai |
| Abjad Handler | TensorFlow CNN | Klasifikasi gambar tangan menjadi huruf A-Z |
| Kata Handler | TF + MediaPipe Holistic | Klasifikasi sekuen gerakan menjadi kata |
| NLG Handler | Python Rule-based | Transformasi token menjadi kalimat natural |
| MySQL | Database Relasional | Penyimpanan data sesi latihan |

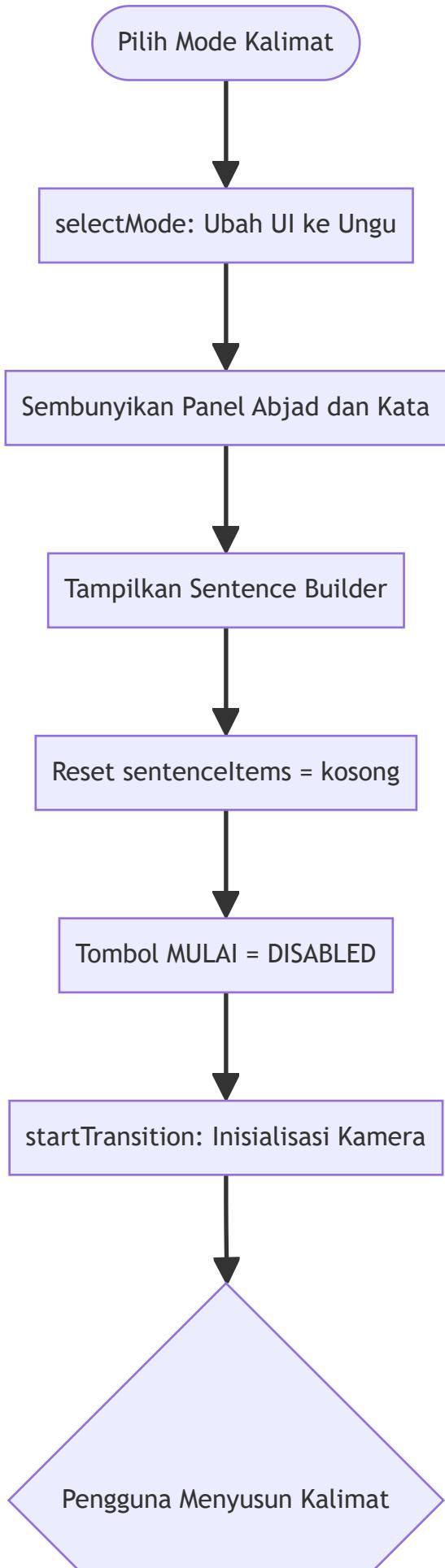
2. Arsitektur Perangkat Lunak

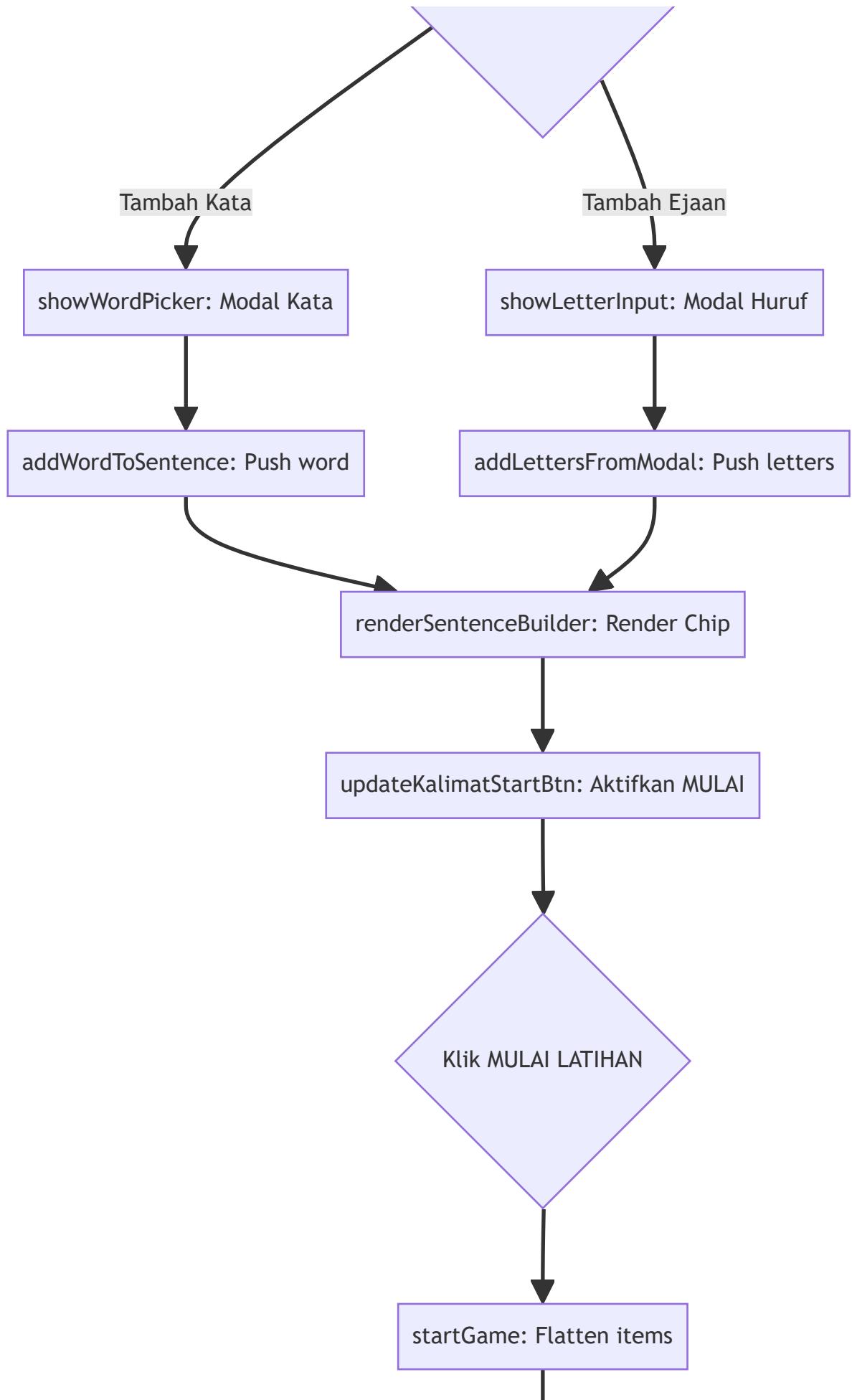


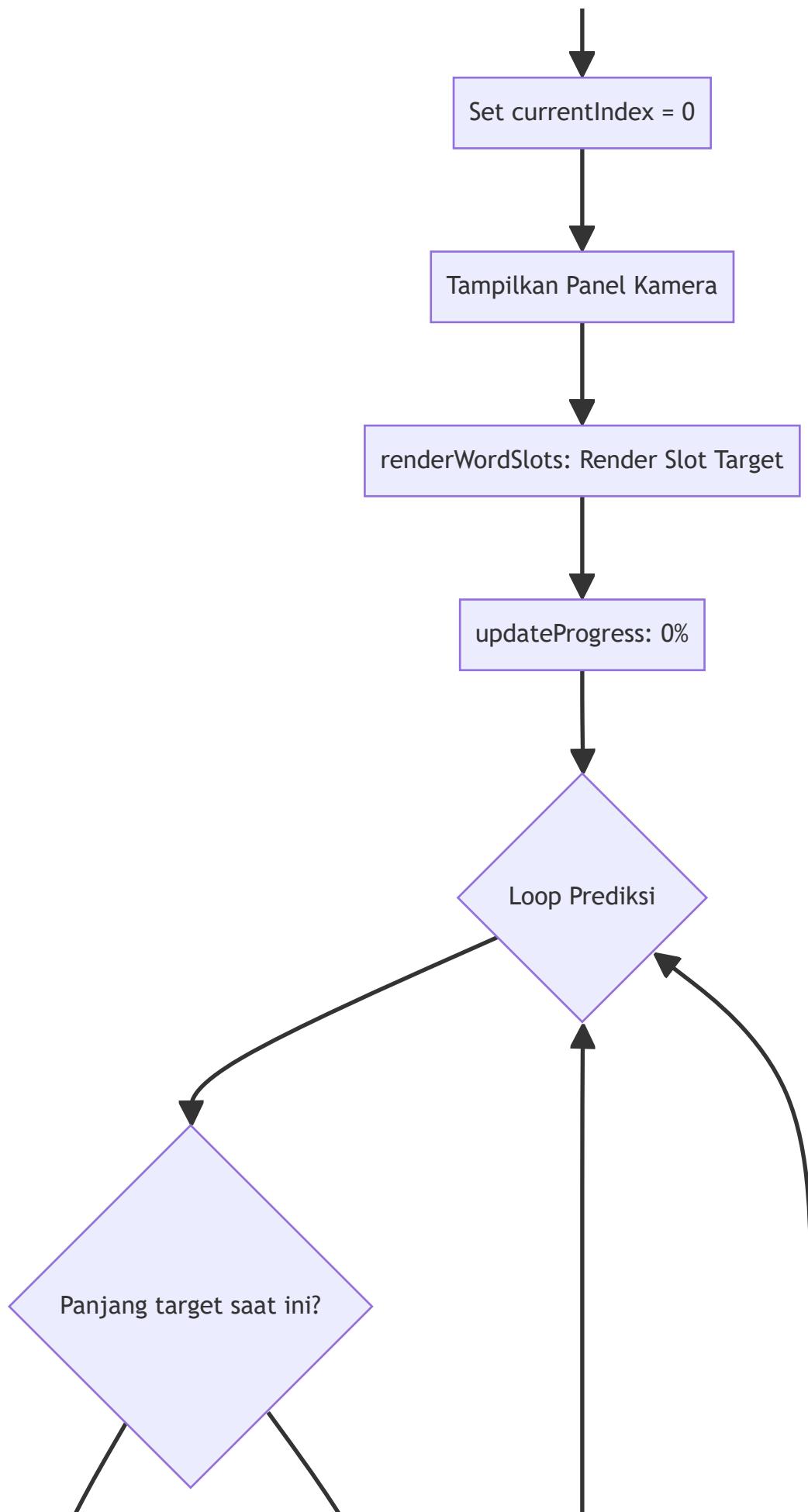
Penjelasan Layer:

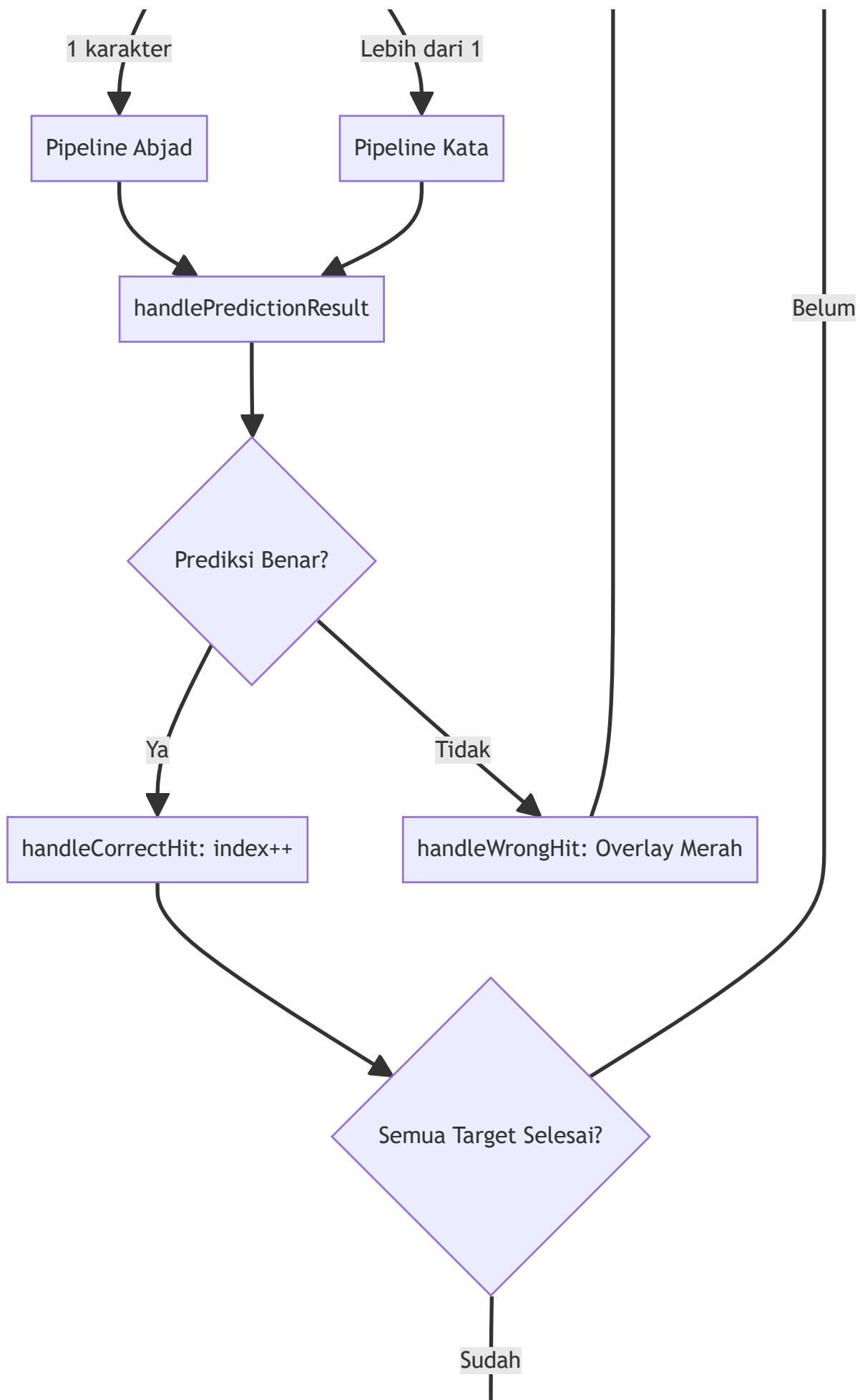
- **Layer Presentasi:** File `deteksi.blade.php` (2252 baris) berisi antarmuka pengguna, Sentence Builder, panel kamera, dan modal penyelesaian.
- **Layer Edge Processing:** Preprocessing gambar di browser sebelum dikirim ke server, mengurangi beban jaringan.
- **Layer API:** Flask menerima HTTP request dan mendistribusikan ke handler berdasarkan endpoint.
- **Layer AI Model:** Model TensorFlow/Keras yang telah dilatih melakukan inferensi. Grammar engine memproses token menjadi teks natural.

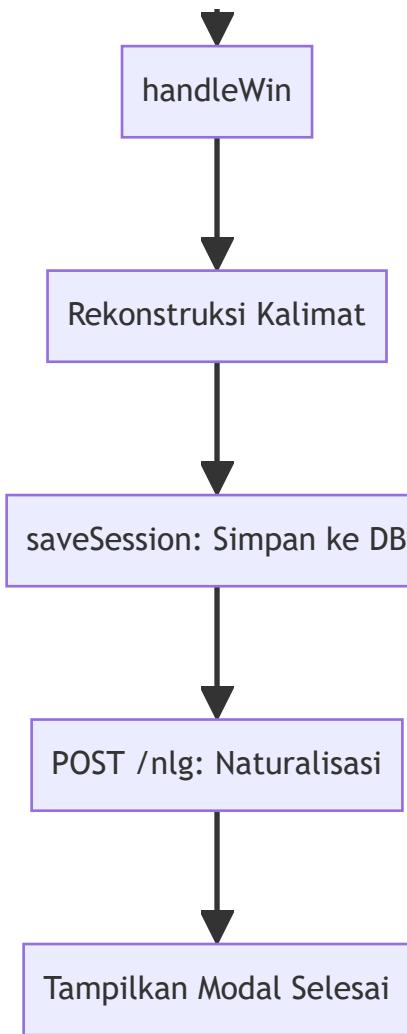
3. Flowchart Alur Utama



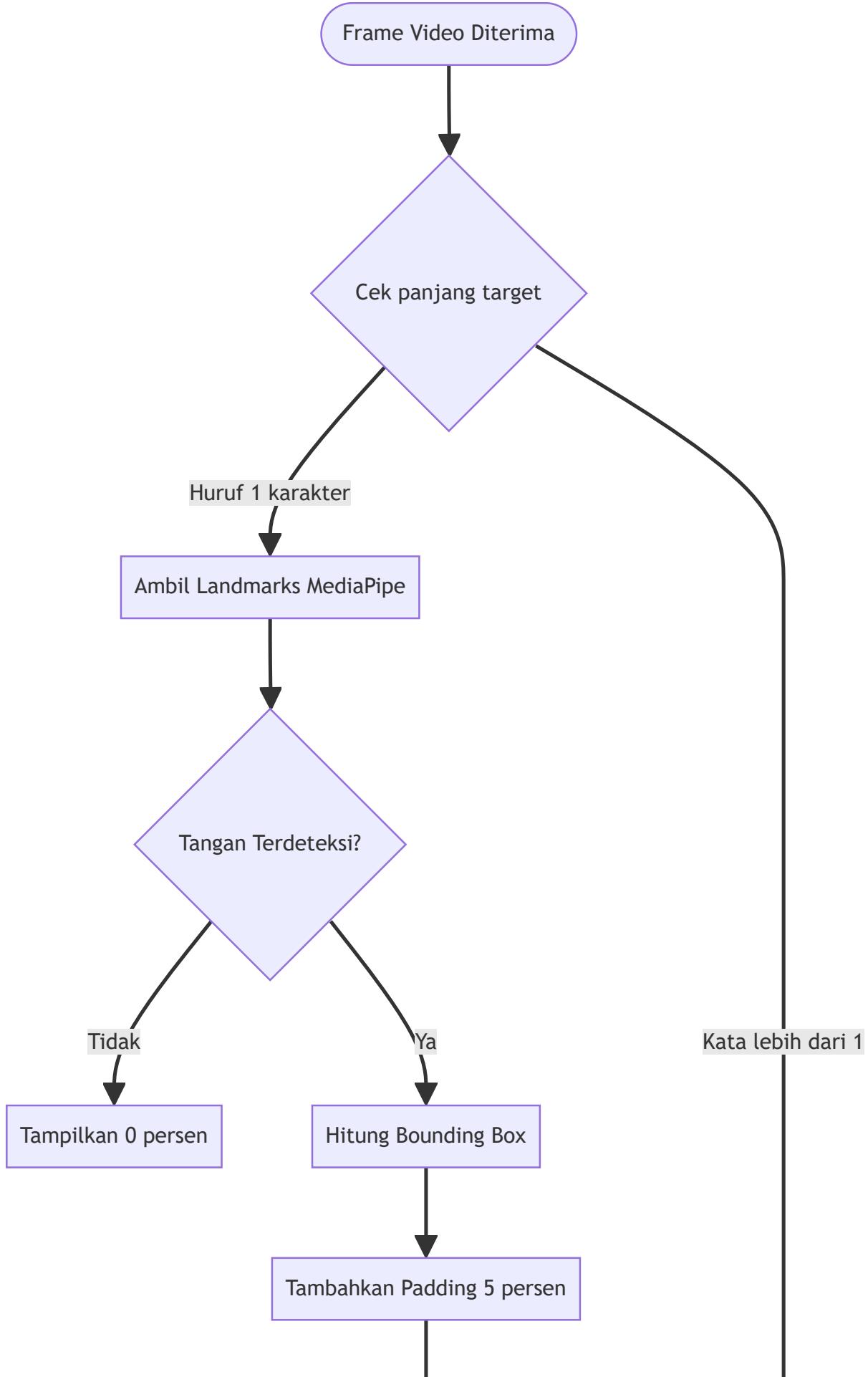


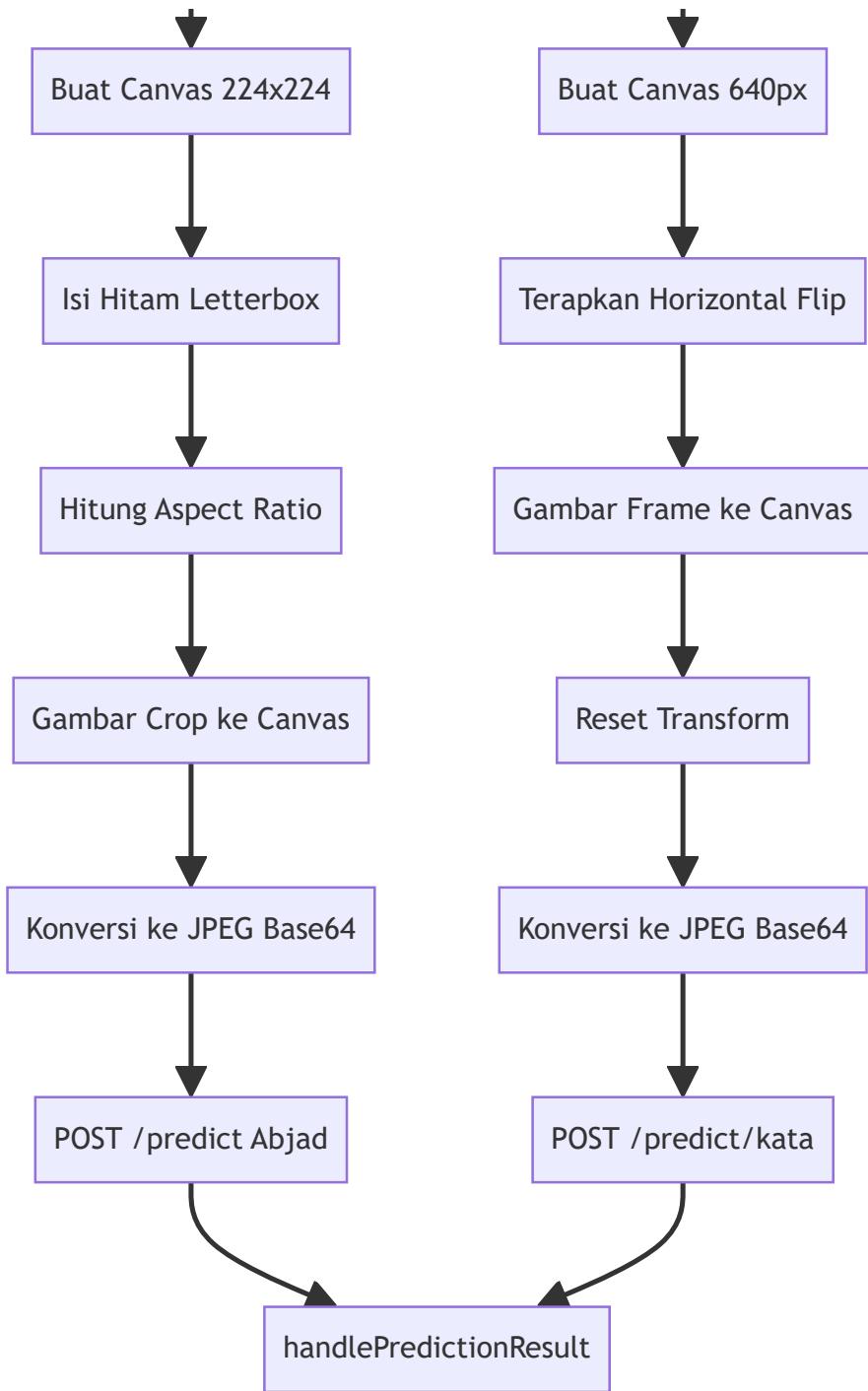






4. Flowchart Preprocessing Detail

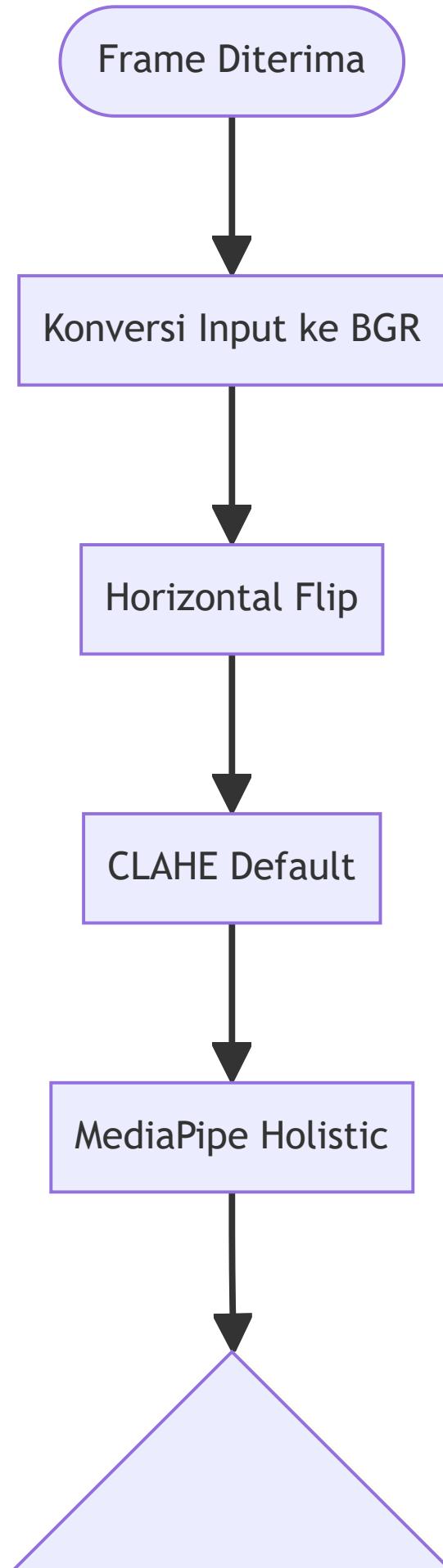


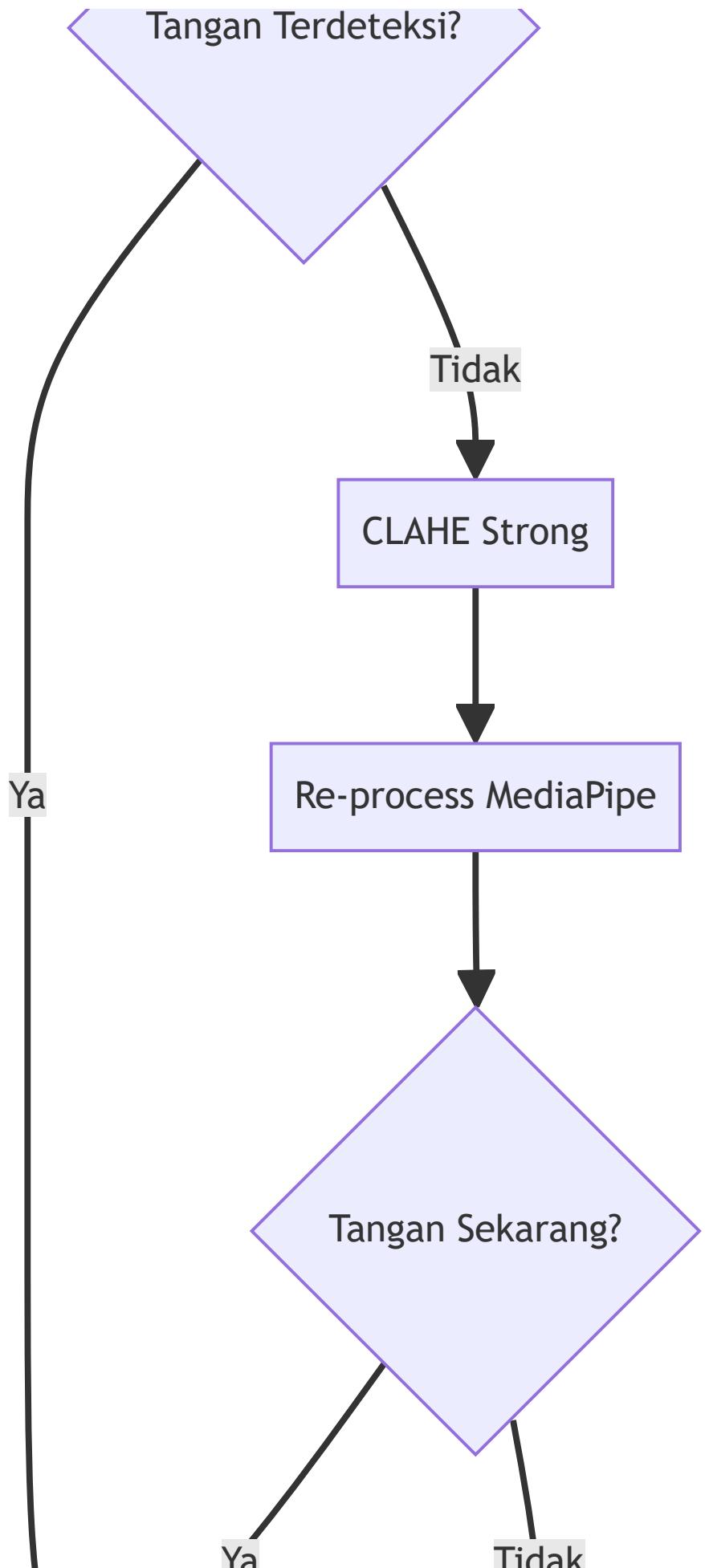


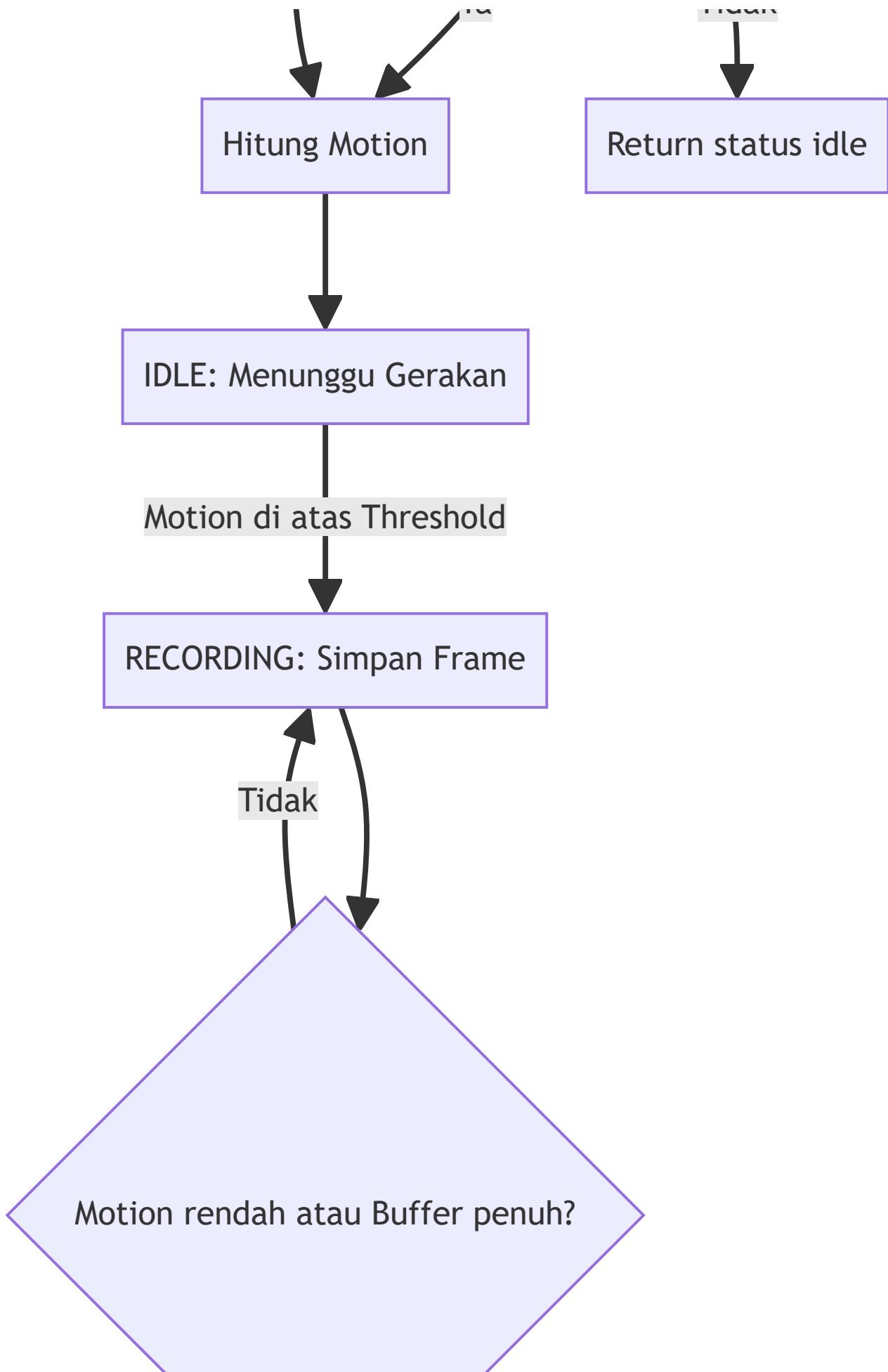
Penjelasan Pipeline Abjad: - MediaPipe frontend menyediakan koordinat 21 titik landmark tangan. - Bounding box dihitung dari koordinat min/max landmark. - Padding 5% ditambahkan di setiap sisi agar gesture tidak terpotong. - Canvas 224x224 diisi hitam terlebih dahulu (letterboxing). - Crop digambar ke canvas dengan aspect ratio terjaga untuk menghindari distorsi. - Hasil dikonversi ke JPEG Base64 quality 80% dan dikirim ke API Abjad.

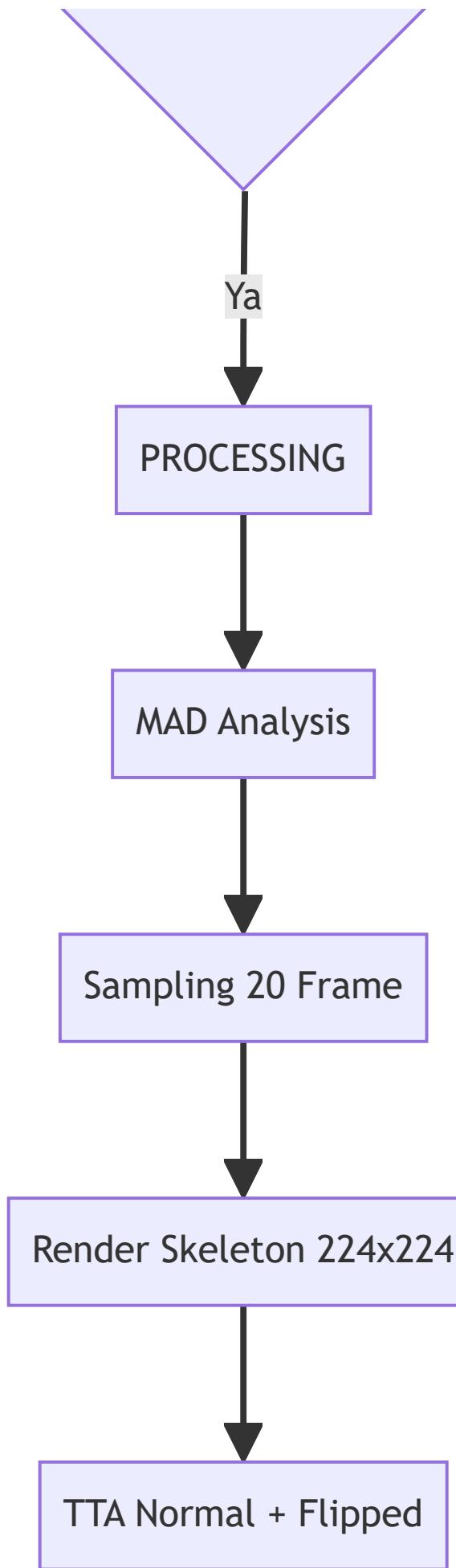
Penjelasan Pipeline Kata: - Canvas baru dibuat dengan lebar 640 piksel (tinggi proporsional). - Frame di-flip horizontal menggunakan `translate(width,0)` dan `scale(-1,1)` agar sesuai orientasi data latih (mirror). - Hasil dikirim ke API Kata yang menjalankan State Machine di backend.

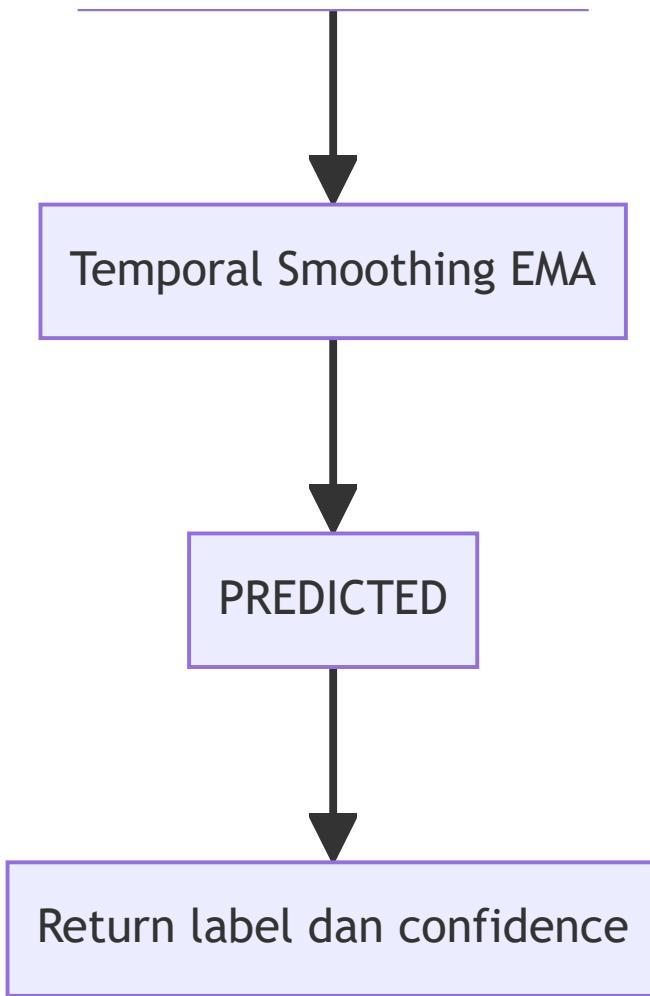
5. Flowchart State Machine Kata Handler











Penjelasan Detail Setiap State:

IDLE — Sistem menunggu tangan muncul dan gerakan signifikan terdeteksi. Dua metode deteksi gerakan digunakan secara paralel: (a) Skeleton-based: menghitung perpindahan pusat tangan antar-frame menggunakan landmark MediaPipe, threshold mulai = 1.5; (b) Pixel-based: menghitung perbedaan piksel langsung tanpa lag, threshold mulai = 1.2. Jika salah satu melampaui threshold, status berpindah ke RECORDING.

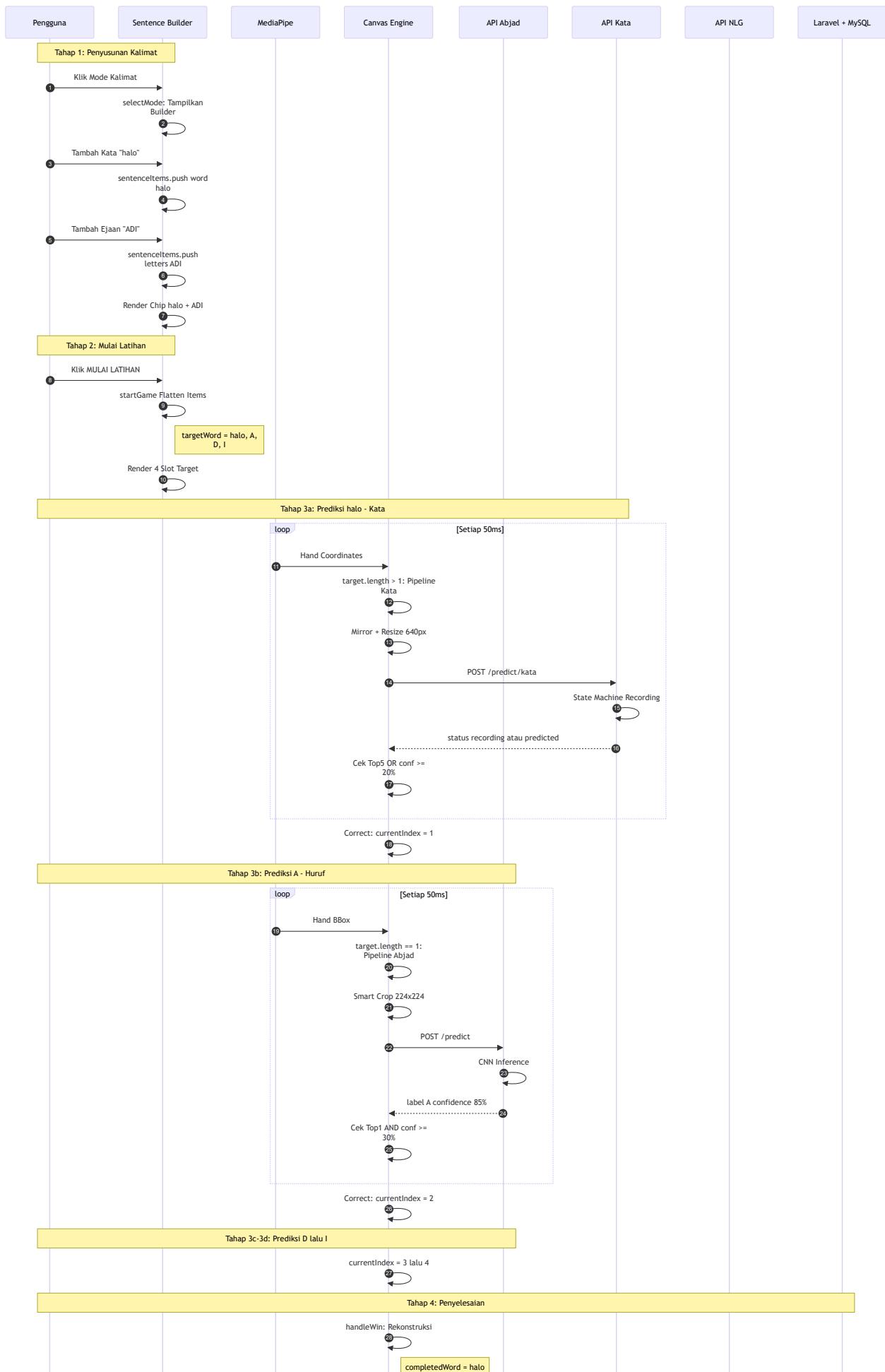
RECORDING — Setiap frame disimpan ke buffer bersama hasil MediaPipe Holistic. Pre-buffer menyimpan 10 frame sebelum gerakan dimulai agar awal gesture tidak hilang. Sistem memonitor gerakan secara kontinu. Jika gerakan turun di bawah stop threshold (skeleton: 1.0, pixel: 0.6) selama 3 frame berturut-turut (STOP_PATIENCE), atau buffer mencapai batas 120 frame, status berpindah ke PROCESSING.

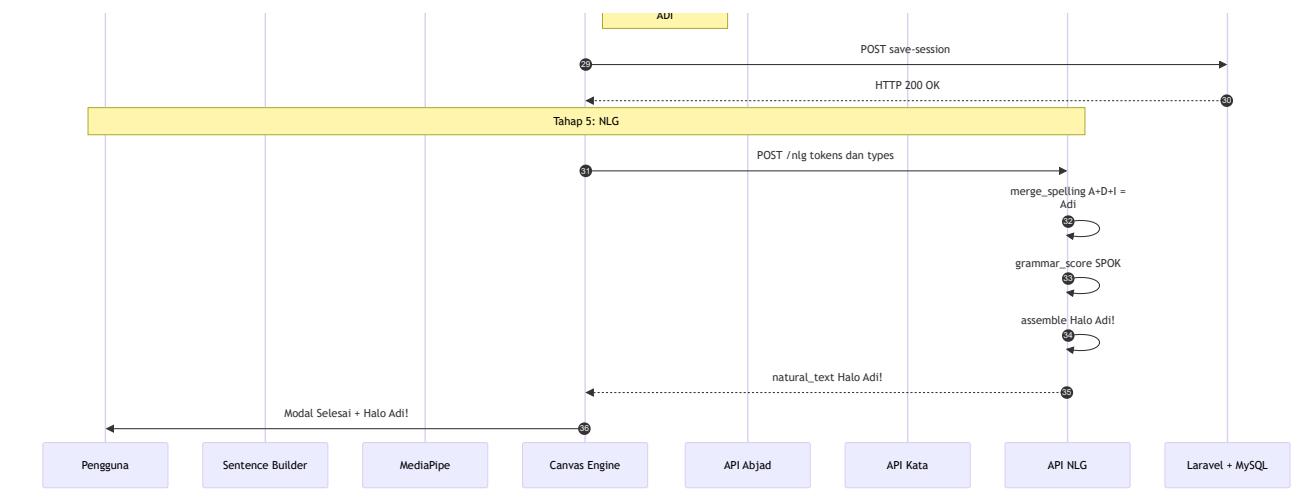
PROCESSING — Fungsi `trim_active_segment_by_motion()` menganalisis buffer menggunakan MAD (Median Absolute Deviation). Frame dikonversi ke grayscale 160x160, dihitung perbedaan absolut antar-frame, dihaluskan dengan kernel rata-rata k=5. Median dan MAD dari sinyal gerakan dihitung. Frame dengan gerakan di atas threshold (median + MAD x 1.0) dianggap aktif. Hanya segmen aktif ditambah margin 2 frame yang digunakan. Dari segmen aktif, 20 frame di-sample secara uniform. Setiap frame diproses dengan `render_v3()` yang menggambar skeleton (pose + tangan) ke canvas 224x224 dengan color-coding: hijau untuk tangan kiri, merah untuk tangan kanan, biru untuk pose. Landmark Persistence diterapkan: jika MediaPipe gagal deteksi tangan pada satu frame, posisi terakhir digunakan sebagai pengganti.

TTA (Test-Time Augmentation) — Model dijalankan 2 kali: sekali dengan orientasi normal, sekali dengan orientasi terbalik horizontal. Kedua hasil probabilitas dirata-ratakan untuk meningkatkan robustness terhadap variasi tangan kiri/kanan.

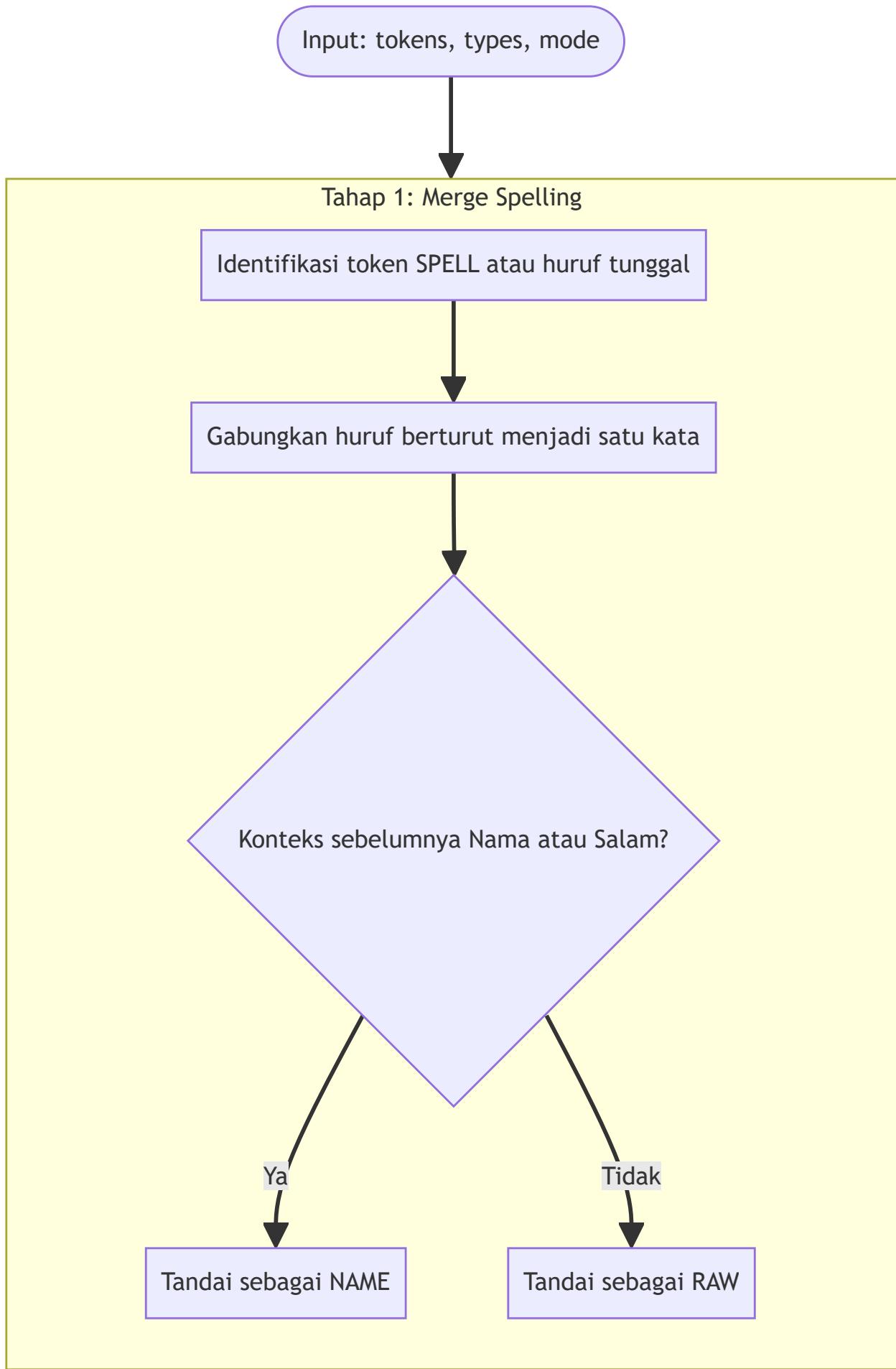
Temporal Smoothing — Probabilitas prediksi dihaluskan menggunakan EMA dari 3 prediksi terakhir dengan bobot [0.2, 0.3, 0.5]. Prediksi terbaru diberi bobot terbesar agar tetap responsif namun stabil.

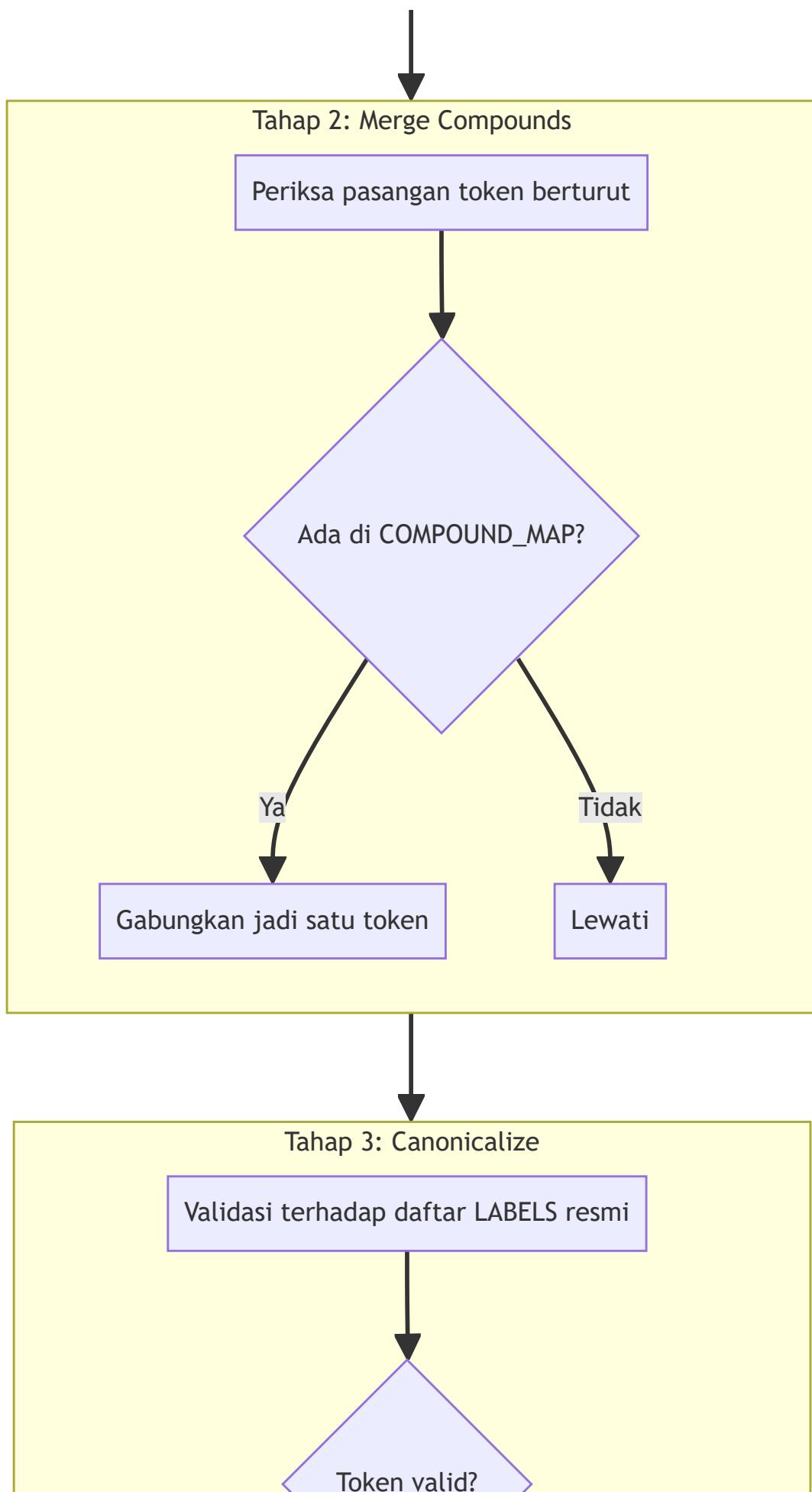
6. Sequence Diagram Interaksi Lengkap

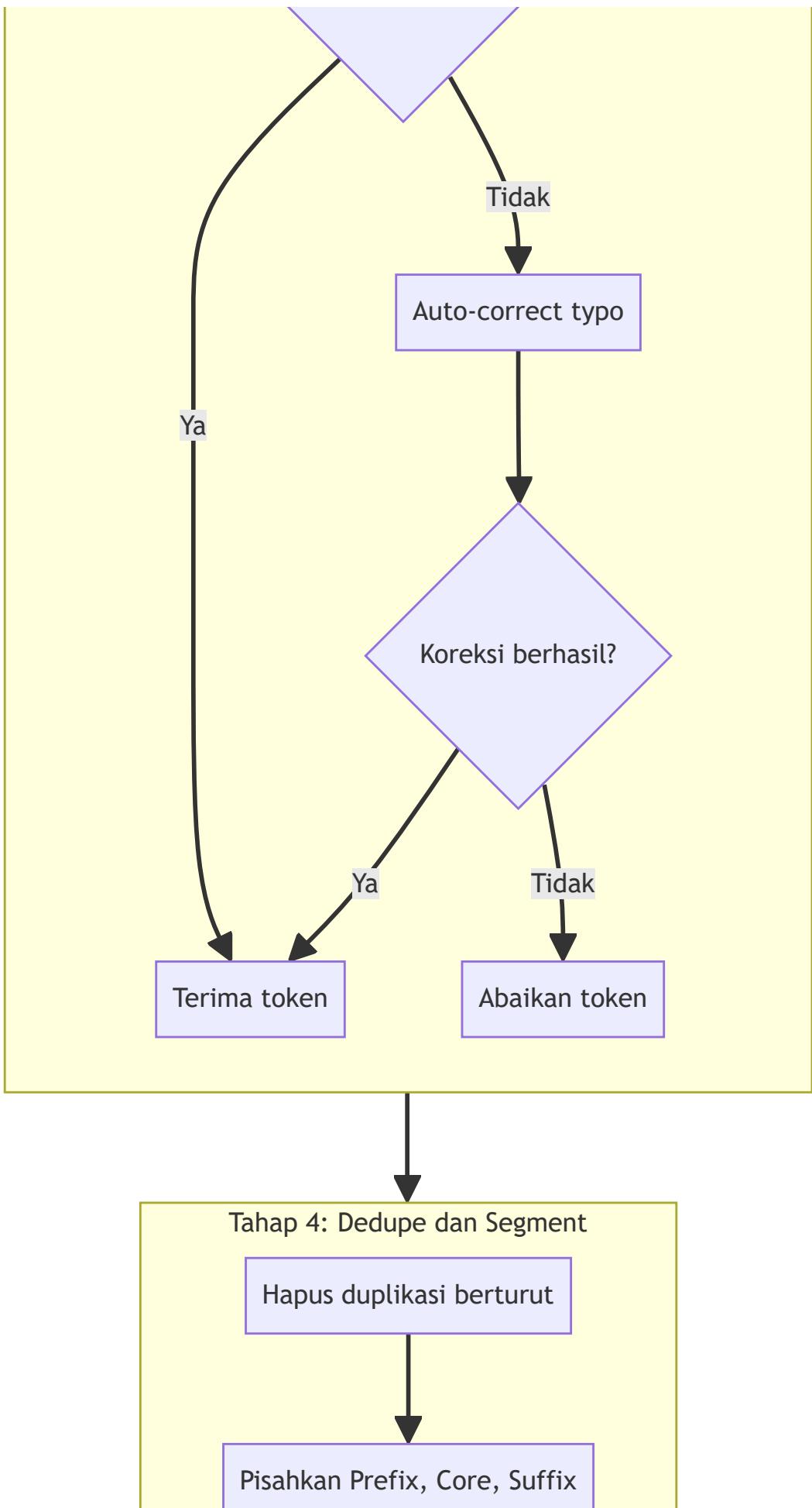


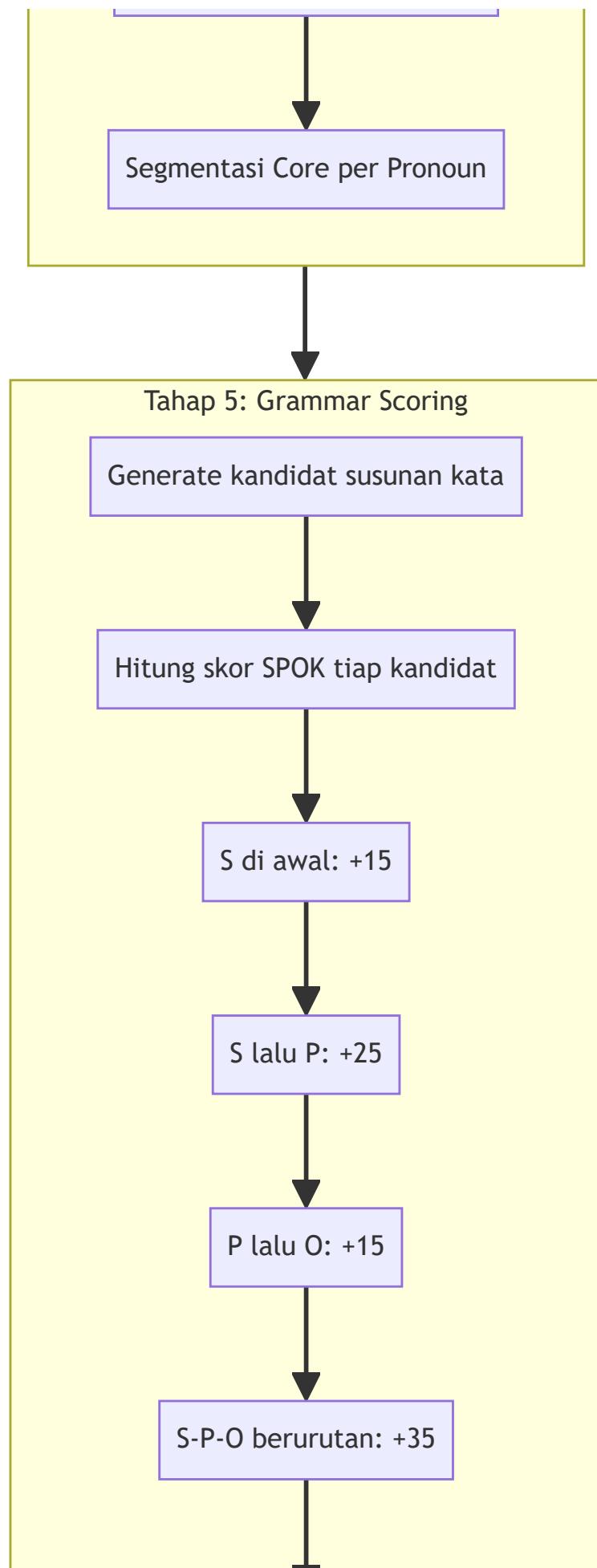


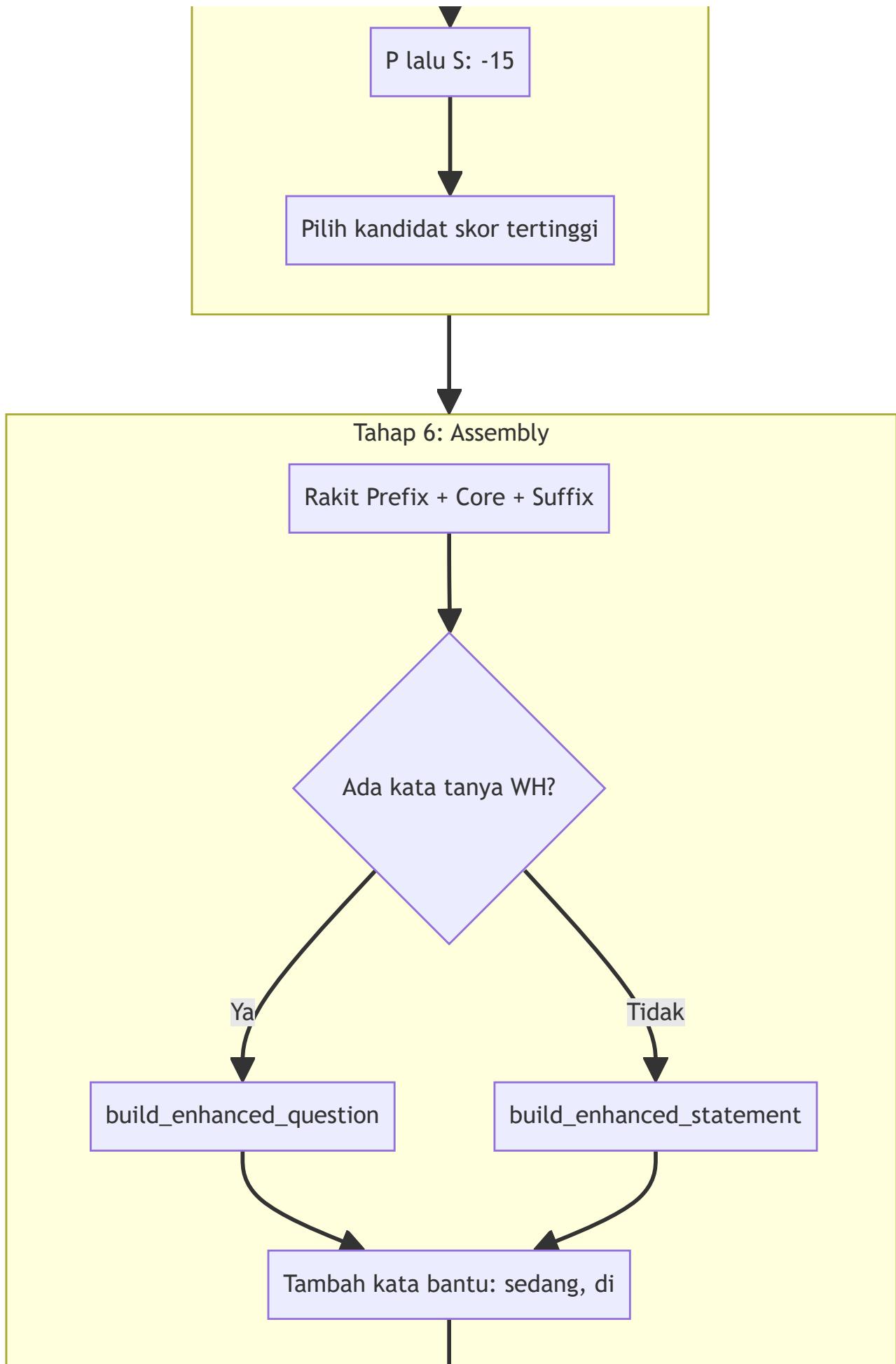
7. Flowchart Pipeline NLG

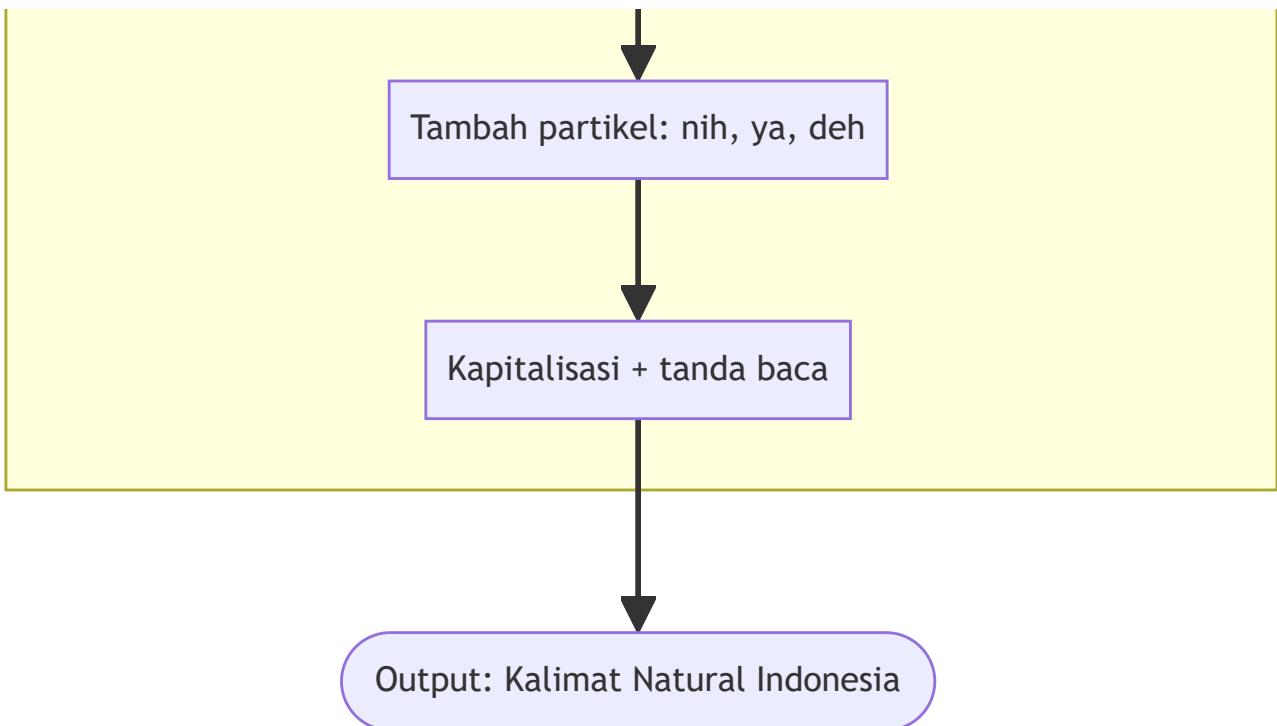










**Contoh Transformasi NLG:**

| Input Tokens | Proses | Output Natural |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| [halo, A, D, I] | A+D+I merged sebagai NAME:Adi | "Halo, Adi!" |
| [saya, makan, nasi] | SPOK sudah natural | "Saya sedang makan nasi." |
| [kamu, belajar, apa] | WH token terdeteksi, reorder | "Kamu sedang belajar apa?" |
| [selamat, pagi, terima kasih] | Compound merge + greeting variation | "Selamat pagi! Terima kasih!" |

8. Tabel Parameter Eksperimental

| No | Parameter | Variabel | Nilai | Keterangan |
|----|-------------------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | Dimensi Input CNN | IMG_SIZE | 224x224x3 | Resolusi setelah Smart Crop |
| 2 | Panjang Sekuens | T | 20 frame | Frame di-sample dari buffer |
| 3 | Dimensi Render Skeleton | OUT_SIZE | 224x224x3 | Canvas skeleton |
| 4 | Lebar Frame Kata | targetW | 640 px | Resolusi kirim ke server |
| 5 | Confidence Abjad | REQUIRED_CONFIDENCE | 30% | Threshold minimum huruf |
| 6 | Confidence Kata | REQUIRED_CONFIDENCE_KATA | 20% | Threshold minimum kata |
| 7 | Motion Start Skeleton | MOTION_START_THRESHOLD | 1.5 | Mulai rekaman |
| 8 | Motion Stop Skeleton | MOTION_STOP_THRESHOLD | 1.0 | Hentikan rekaman |
| 9 | Motion Start Pixel | PIXEL_MOTION_START_THRESHOLD | 1.2 | Deteksi piksel mulai |
| 10 | Motion Stop Pixel | PIXEL_MOTION_STOP_THRESHOLD | 0.6 | Deteksi piksel berhenti |
| 11 | Stop Patience | STOP_PATIENCE | 3 frame | Frame diam sebelum stop |
| 12 | Min Gesture Frames | MIN_GESTURE_FRAMES | 5 frame | Minimum gesture valid |
| 13 | Max Buffer Frames | MAX_BUFFER_FRAMES | 120 frame | Kapasitas buffer |
| 14 | Pre-buffer Size | pre_buffer | 10 frame | Frame sebelum gerakan |
| 15 | Prediction Cooldown | PREDICTION_COOLDOWN | 0.5 detik | Jarak antar prediksi |
| 16 | Frame Skip Rate | FRAME_SKIP_RATE | 2 | Proses tiap frame ke-N |
| 17 | CLAHE Default | clipLimit | 2.0 | Equalization normal |
| 18 | CLAHE Strong | clipLimit | 4.0 | Equalization gelap |
| 19 | EMA Weights | smoothing | 0.2, 0.3, 0.5 | Bobot temporal |
| 20 | Smart Crop Padding | padding | 5% | Margin bounding box |
| 21 | JPEG Quality | toDataURL | 80% | Kualitas kompresi |
| 22 | Skeleton Scale | max_dim | 1.3x | Faktor zoom skeleton |
| 23 | MAD Factor | MOTION_THRESHOLD_FACTOR | 1.0 | Pengali MAD |
| 24 | Min Hand Frames | MIN_HAND_FRAMES | 3 frame | Min frame dgn tangan |
| 25 | Throttle Delay | setTimeout | 50 ms | Jeda antar-request |

9. Pengujian BLEU Score - Evaluasi NLG

9.1 Metodologi

BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) digunakan untuk mengukur kualitas output NLG Mode Kalimat dengan membandingkan kalimat yang dihasilkan sistem terhadap referensi kalimat natural yang ditulis secara manual. Evaluasi menggunakan library `nltk.translate.bleu_score` dengan **Smoothing Method 1** untuk menangani kalimat pendek.

Metrik yang diukur: - **BLEU-1 (Unigram Precision):** Mengukur kecocokan kata per kata antara output dan referensi. Bobot: (1, 0, 0, 0). - **BLEU-2 (Bigram Precision):** Mengukur kecocokan pasangan kata berturut-turut. Bobot: (0.5, 0.5, 0, 0).

Tokenisasi: Teks di-lowercase, tanda baca dihapus, lalu dipecah berdasarkan spasi.

9.2 Kategori Pengujian

Evaluasi dilakukan terhadap **81 test case** yang mencakup **seluruh 26 label kata BISINDO**, dibagi dalam 3 kategori:

| No | Kategori | Jumlah Test Case | Deskripsi |
|----|---------------------|------------------|---|
| A | Kalimat Terstruktur | 30 | Input token dalam urutan SPOK yang benar |
| B | Kalimat Acak | 25 | Input token dalam urutan terbalik/acak, menguji kemampuan reordering SPOK |
| C | Kata Tunggal | 26 | Setiap label kata diuji secara individual |

Cakupan Label: Semua 26 label tercakup — Apa, Apa Kabar, Bagaimana, Baik, Belajar, Berapa, Bingung, Dia, Halo, Kamu, Makan, Marah, Melihat, Menulis, Sabar, Saya, Selamat Malam, Selamat Pagi, Selamat Siang, Selamat Sore, Siapa, Terima Kasih, Tidur, Tinggi, Tuli, Maaf.

9.3 Hasil Evaluasi

Ringkasan Per Kategori:

| Kategori | N | BLEU-1 | BLEU-2 | Kualitas |
|------------------------|-----------|---------------|---------------|--------------------|
| A. Kalimat Terstruktur | 30 | 0.9512 | 0.9174 | Sangat Baik |
| B. Kalimat Acak | 25 | 0.7294 | 0.6983 | Sangat Baik |
| C. Kata Tunggal | 26 | 1.0000 | 0.4740 | Sempurna (BLEU-1) |
| OVERALL AVERAGE | 81 | 0.8984 | 0.7074 | Sangat Baik |

9.4 Visualisasi Hasil

Berikut adalah grafik performa BLEU Score yang dihasilkan dari pengujian:

1.

Grafik

Line

Chart

-

Performansi

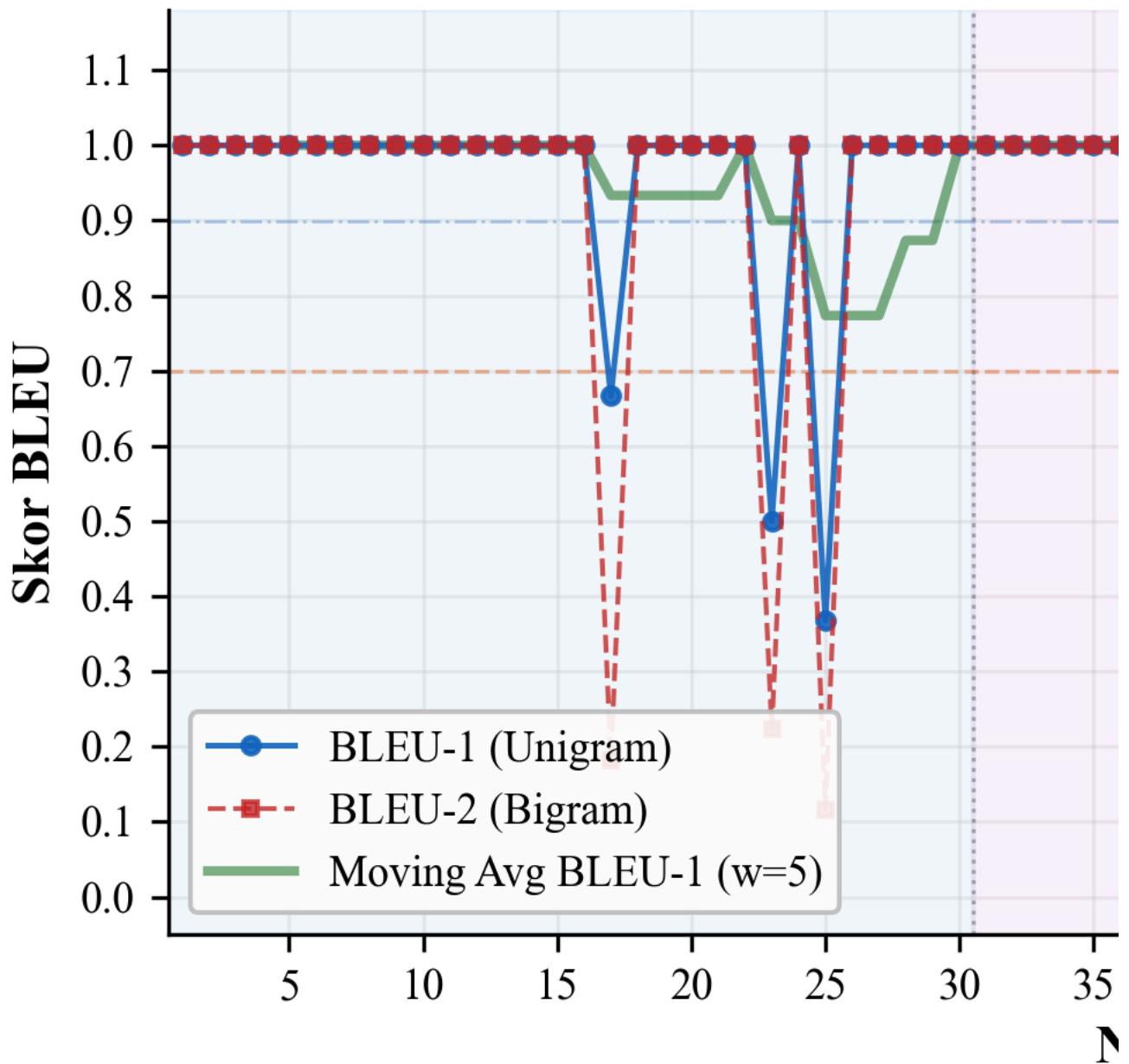
per

Test

Case

Grafik BLEU Score p

**Kat. A: Terstruktur
(n=30)**



Gambar 9.1: Grafik skor BLEU-1 dan BLEU-2 untuk setiap test case, menunjukkan konsistensi performa di berbagai kategori.

2.

Grafik

Bar

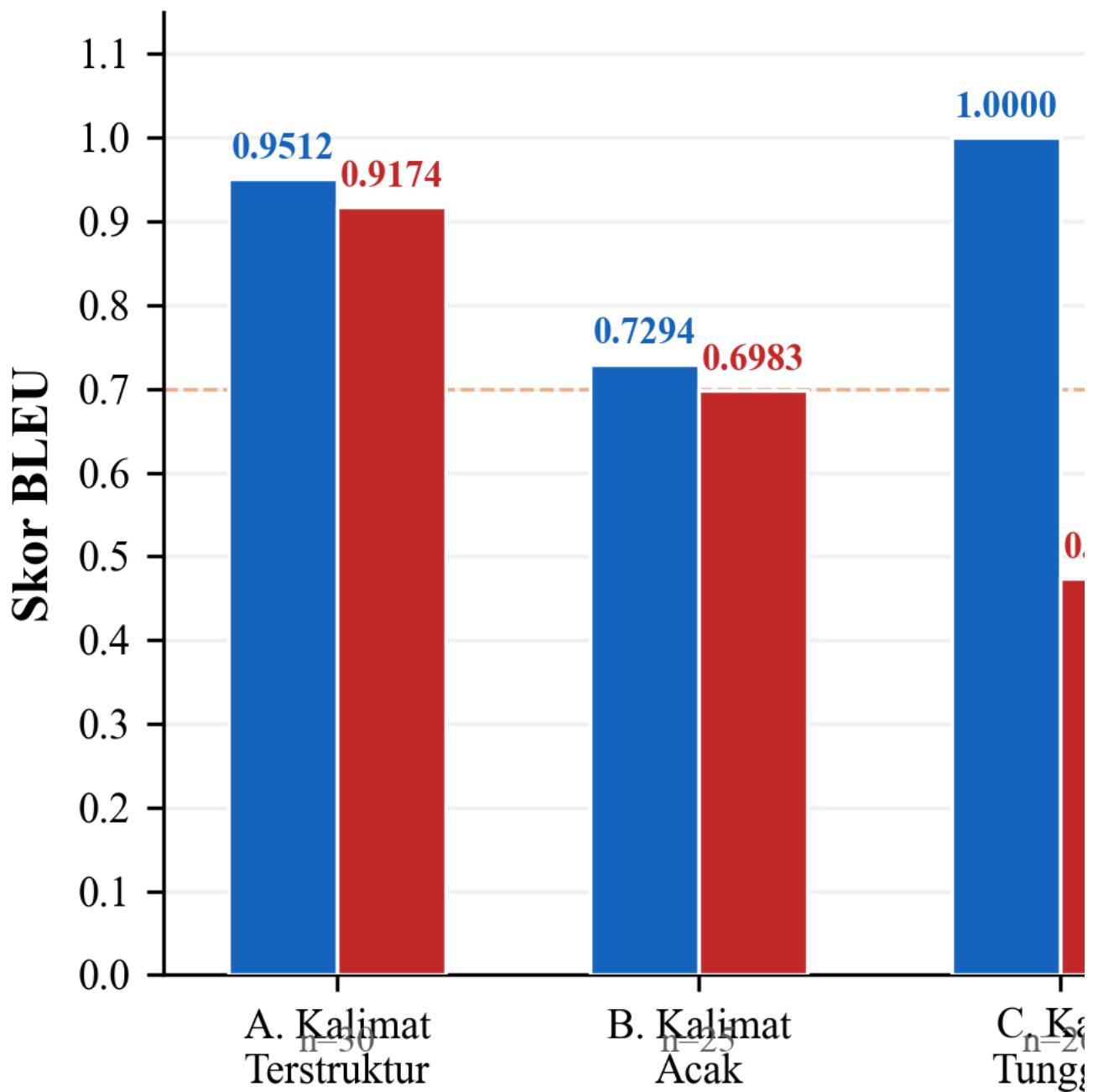
Chart

Rata-rata

per

Kategori

Rata-rata BLEU Score per Kategori —



Gambar 9.2: Perbandingan rata-rata skor BLEU antar kategori pengujian.

Statistik Tambahan: - Test case dengan BLEU-1 sempurna (≥ 0.99): **70/81 (86.4%)** - Test case dengan BLEU-1 ≥ 0.5 : **73/81 (90.1%)** - Test case dengan BLEU-1 < 0.3 : **5/81 (6.2%)**

9.5 Contoh Hasil Per Kategori

A. Kalimat Terstruktur (Sampel):

| Input Token | Output NLG | BLEU-1 | BLEU-2 |
|------------------------|---------------------|--------|--------|
| [Saya, Makan] | Saya makan. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Dia, Belajar] | Dia belajar. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Maaf, Saya, Bingung] | Maaf, saya bingung. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Berapa, Tinggi, Kamu] | Berapa tinggi kamu? | 1.0000 | 1.0000 |
| [Selamat, Pagi] | Selamat pagi! | 1.0000 | 1.0000 |

B. Kalimat Acak - Menguji SPOK Reordering (Sampel):

| Input Token (Acak) | Output NLG (Reordered) | BLEU-1 | BLEU-2 |
|-----------------------|------------------------|--------|--------|
| [Makan, Saya] | Saya makan. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Tidur, Kamu] | Kamu tidur. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Bingung, Saya, Maaf] | Maaf, saya bingung. | 1.0000 | 1.0000 |
| [Tinggi, Berapa, Dia] | Berapa tinggi dia? | 1.0000 | 1.0000 |
| [Belajar, Halo, Saya] | Halo! Saya belajar. | 1.0000 | 1.0000 |

9.5 Analisis Kegagalan

Terdapat 5 test case dengan BLEU-1 = 0.0 (semua pada kategori Kalimat Acak), yaitu compound word yang ditulis terbalik:

| Input (Terbalik) | Output | Referensi | Penyebab |
|------------------|----------|----------------|---|
| [Kasih, Terima] | (kosong) | Terima kasih! | Compound tidak terdeteksi dalam urutan terbalik |
| [Pagi, Selamat] | (kosong) | Selamat pagi! | Compound tidak terdeteksi dalam urutan terbalik |
| [Siang, Selamat] | (kosong) | Selamat siang! | Compound tidak terdeteksi dalam urutan terbalik |
| [Sore, Selamat] | (kosong) | Selamat sore! | Compound tidak terdeteksi dalam urutan terbalik |
| [Malam, Selamat] | (kosong) | Selamat malam! | Compound tidak terdeteksi dalam urutan terbalik |

Analisis: Kegagalan terjadi karena `COMPOUND_MAP` hanya mencocokkan pasangan token dalam urutan yang benar (misalnya Selamat+Pagi), bukan dalam urutan terbalik (Pagi+Selamat). Token individu "Kasih", "Pagi", "Siang", "Sore", dan "Malam" tidak terdapat dalam daftar `LABELS` resmi sehingga di-filter oleh `canonicalize_tokens()`.

9.6 Interpretasi dan Kesimpulan

| Rentang BLEU | Kategori |
|--------------|---------------|
| 0.0 - 0.1 | Sangat rendah |
| 0.1 - 0.3 | Rendah |
| 0.3 - 0.5 | Cukup baik |
| 0.5 - 0.7 | Baik |
| 0.7 - 1.0 | Sangat baik |

Kesimpulan: NLG Mode Kalimat memperoleh skor **Overall BLEU-1 = 0.8984** dan **BLEU-2 = 0.7074**, yang masuk dalam kategori **Sangat Baik**. Sistem berhasil menghasilkan kalimat natural yang sangat mirip dengan referensi pada 86.4% test case. Kemampuan Grammar Scoring (SPOK Reordering) terbukti efektif dengan BLEU-1 = 0.7294 pada input token acak. Kelemahan utama terletak pada penanganan compound word dalam urutan terbalik yang dapat diperbaiki dengan menambahkan reverse mapping pada `COMPOUND_MAP`.