



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**DETEKSI KELAINAN TIDUR SLEEP APNEA DARI  
SINYAL PERNAPASAN BERBASIS DEEP LEARNING**

**SKRIPSI**

**PRABA ARYA ELMAHDI**

**2107412023**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2025**



© Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



# **DETEKSI KELAINAN TIDUR SLEEP APNEA DARI SINYAL PERNAPASAN BERBASIS DEEP LEARNING**

**SUB JUDUL:**

## **MODEL DETEKSI SLEEP APNEA DARI SINYAL PERNAPASAN BERBASIS DEEP LEARNING**

**SKRIPSI**

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang Diperlukan untuk  
Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

**PRABA ARYA ELMAHDI**

**2107412023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

**2025**



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Praba Arya Elmahdi

NIM : 21074120023

Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer/Teknik Informatika

Judul Skripsi : Deteksi Kelainan Tidur Sleep Apnea Dari Sinyal Pernapasan Berbasis Deep Learning

Sub Judul Skripsi : Model Deteksi Sleep Apnea Dari Sinyal Pernapasan Berbasis Deep Learning

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri-ciri plagiat dan bentuk-bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Depok, 16 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,

Praba Arya Elmahdi

NIM 2107412023



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**LEMBAR PENGESAHAN**

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Praba Arya Elmahdi

NIM : 2107412023

Program Studi : Teknik Informatika

Judul Skripsi : Deteksi Kelainan Tidur Sleep Apnea Dari Sinyal Pernapasan Berbasis Deep Learning

Sub Judul Skripsi : Model Deteksi Sleep Apnea Dari Sinyal Pernapasan Berbasis Deep Learning

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari ....., Tanggal ...

Bulan ....., Tahun 2025 dan dinyatakan .....

Disahkan oleh

Pembimbing I : Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D. (.....)

Penguji I : (.....)

Penguji II : (.....)

Penguji III : (.....)

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua

Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19780211200912100



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## KATA PENGANTAR

Segala pujian dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas semua karunia, petunjuk, dan bantuan-Nya, sehingga penulis berhasil menyelesaikan laporan skripsi ini dalam waktu yang ditentukan. Dokumen ini disusun sebagai salah satu prasyarat untuk meraih gelar Sarjana Terapan di Politeknik Negeri Jakarta. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, dan bantuan selama proses penulisan skripsi ini. Secara khusus, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan penulis nikmat berupa kesehatan dan pikiran yang jernih, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan memuaskan.
2. Ibu Mera Kartika Delimayanti, S.Si, M.T., Ph.D., sebagai dosen pembimbing, atas segala bimbingan, saran berharga, dan motivasi yang diberikan dari awal hingga akhir dalam penyusunan skripsi ini.
3. Orang tua, kekasih, serta teman - teman penulis tercinta, yang selalu memberi doa, semangat, serta dukungan baik moral maupun material yang menjadi sumber kekuatan penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Sebagai penutup, penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi sumber referensi yang berguna dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 16 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,

Praba Arya Elmahdi

NIM 2107412023



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, Saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Praba Arya Elmahdi  
NIM : 2107412023  
Jurusan/Program Studi : T.Informatika dan Komputer/Teknik Informatika

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

### **Deteksi Kelainan Tidur *Sleep Apnea* Dari Sinyal Pernapasan Berbasis *Deep Learning***

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi Saya tanpa meminta izin dari Saya selama tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya

Depok, 16 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,

Praba Arya Elmahdi

NIM 2107412023



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## Model Deteksi Sleep Apnea Dari Sinyal Pernapasan Berbasis Deep Learning

### ABSTRAK

*Sleep apnea merupakan gangguan pernapasan yang terjadi selama tidur dan dapat berdampak serius pada kesehatan apabila tidak terdeteksi sejak dini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji model deteksi Obstructive Sleep Apnea (OSA) dengan memanfaatkan sinyal fisiologis pernapasan menggunakan pendekatan deep learning. Dataset yang digunakan berasal dari PhysioNet dan IMERI UI, mencakup sinyal seperti saturasi oksigen darah (SpO<sub>2</sub>), aliran udara (flow), gerakan dada (thorax), dan abdomen. Data diolah menjadi segmen berdurasi 30 detik, kemudian dinormalisasi dan diubah ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT), serta digunakan sebagai input untuk model. Arsitektur model yang dikembangkan meliputi Convolutional Neural Network (CNN) 1D dan Long Short-Term Memory (LSTM). Berdasarkan hasil evaluasi, model CNN dengan preprocessing normalisasi memberikan performa terbaik dengan akurasi mencapai 98,7%, menunjukkan kemampuan luar biasa dalam mengekstraksi fitur spasial dari sinyal pernapasan mentah. Sementara itu, model LSTM dengan data normalisasi menunjukkan akurasi 91,1%, yang juga cukup tinggi, namun masih di bawah performa CNN. Ketika preprocessing FFT diterapkan, performa menurun pada kedua model: CNN-FFT mencatat akurasi 91,3%, sedangkan LSTM-FFT hanya mencapai akurasi 89,5%. Temuan ini menunjukkan bahwa CNN lebih unggul dalam mengekstraksi pola spasial langsung dari data sinyal mentah tanpa perlu transformasi ke domain frekuensi. Sebaliknya, LSTM yang dirancang untuk menangkap informasi temporal dari urutan data, cenderung kehilangan performa ketika data diubah ke domain frekuensi karena informasi waktu menjadi kurang eksplisit. Hasil pengujian menunjukkan model terbaik adalah CNN-FFT, model kemudian diintegrasikan ke dalam prototipe sistem berbasis web untuk mendeteksi OSA secara otomatis. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan sistem deteksi apnea tidur yang non-invasif, cepat, akurat, dan mudah diakses, guna mendukung proses skrining dini oleh tenaga medis maupun masyarakat umum.*

**Kata kunci:** *Sleep apnea, sinyal pernapasan, CNN, LSTM, FFT, pembelajaran mendalam, PhysioNet*



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR ISI**

|                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------|
| SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....                                           | iii  |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                                                            | iv   |
| KATA PENGANTAR .....                                                               | v    |
| SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK<br>KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | vi   |
| ABSTRAK .....                                                                      | vii  |
| DAFTAR ISI .....                                                                   | viii |
| DAFTAR TABEL .....                                                                 | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                | xii  |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                                                              | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                            | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                           | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                          | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah .....                                                          | 2    |
| 1.4 Tujuan dan Manfaat .....                                                       | 3    |
| 1.4.1 Tujuan .....                                                                 | 3    |
| 1.4.2 Manfaat .....                                                                | 3    |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                                                    | 3    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                                                      | 5    |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....                                                     | 5    |
| 2.2 Sleep Apnea .....                                                              | 6    |
| 2.3 Sinyal Pernapasan .....                                                        | 6    |
| 2.3.1 Sinyal Flow .....                                                            | 6    |
| 2.3.2 Sinyal Abdomen .....                                                         | 7    |
| 2.3.3 SpO <sub>2</sub> .....                                                       | 7    |
| 2.3.4 Sinyal Sum .....                                                             | 7    |
| 2.4 Deep Learning .....                                                            | 8    |
| 2.4.1 Convolutional Neural Network (CNN) .....                                     | 8    |
| 2.4.2 Long Short-Term Memory .....                                                 | 8    |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|                                   |                                                      |    |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------|----|
| 2.5                               | Ekstraksi Fitur .....                                | 9  |
| 2.5.1                             | Fast Fourier Transform (FFT) .....                   | 10 |
| 2.6                               | Python .....                                         | 10 |
| 2.7                               | <i>Application Programming Interface</i> (API) ..... | 10 |
| 2.7.1                             | Flask .....                                          | 11 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....    |                                                      | 10 |
| 3.1                               | Rancangan Penelitian .....                           | 10 |
| 3.2                               | Tahapan Penelitian .....                             | 10 |
| 3.2.1                             | Problem Definition .....                             | 11 |
| 3.2.2                             | Pengumpulan Data .....                               | 11 |
| 3.2.3                             | Pra-pemrosesan Data .....                            | 11 |
| 3.2.4                             | Model Development .....                              | 11 |
| 3.2.5                             | Model Evaluation .....                               | 12 |
| 3.2.6                             | Deployment dan Integrasi Web .....                   | 13 |
| 3.2.7                             | Monitoring and Maintenance .....                     | 13 |
| 3.3                               | Objek Penelitian .....                               | 13 |
| 3.4                               | Framework yang Digunakan .....                       | 13 |
| 3.5                               | Teknik Pengumpulan dan Analisis Data .....           | 14 |
| 3.5.1                             | Pengumpulan Data .....                               | 14 |
| 3.5.2                             | Analisis Data .....                                  | 14 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... |                                                      | 14 |
| 4.1                               | Analisis Kebutuhan .....                             | 14 |
| 4.1.1                             | Kebutuhan Pengembangan Model .....                   | 14 |
| 4.1.2                             | Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional .....        | 16 |
| 4.1.3                             | Kebutuhan Perangkat Keras .....                      | 16 |
| 4.1.4                             | Kebutuhan Perangkat Lunak .....                      | 17 |
| 4.2                               | Perancangan Sistem .....                             | 17 |
| 4.2.1                             | Metode Penerapan <i>Apnea</i> .....                  | 18 |
| 4.2.2                             | Perancangan Kerja Model .....                        | 20 |
| 4.2.3                             | Prampemrosesan Data .....                            | 20 |
| 4.2.4                             | Perancangan Model Deep Learning .....                | 23 |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|                      |                                                                     |    |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.5                | Integrasi Web <i>Application Programming Interface (Deployment)</i> | 28 |
| 4.3                  | Implementasi Sistem .....                                           | 29 |
| 4.3.1                | Implementasi Model.....                                             | 29 |
| 4.4                  | Pengujian.....                                                      | 52 |
| 4.4.1                | Deskripsi Pengujian .....                                           | 52 |
| 4.4.2                | Prosedur Pengujian.....                                             | 53 |
| 4.4.3                | Hasil Pengujian .....                                               | 56 |
| 4.4.4                | Analisis Data .....                                                 | 61 |
| BAB V                | PENUTUP.....                                                        | 64 |
| 5.1                  | Kesimpulan .....                                                    | 64 |
| 5.2                  | Saran.....                                                          | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA       | .....                                                               | 66 |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | .....                                                               | 69 |
| LAMPIRAN             | .....                                                               | 70 |

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR TABEL**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 4. 1 Kebutuhan dataset .....                                          | 14 |
| Tabel 4. 2 Kebutuhan model .....                                            | 15 |
| Tabel 4. 3 Kebutuhan API.....                                               | 15 |
| Tabel 4. 4 Kebutuhan perangkat keras .....                                  | 16 |
| Tabel 4. 5 Pustaka .....                                                    | 17 |
| Tabel 4. 6 Perbandinga kriteria apnea.....                                  | 18 |
| Tabel 4. 7 Persentase pembagian data.....                                   | 23 |
| Tabel 4. 8 Hyperparameter Model .....                                       | 27 |
| Tabel 4. 9 Perbandingan bentuk data FFT dan sinyal mentah .....             | 39 |
| Tabel 4. 10 Jumlah data .....                                               | 40 |
| Tabel 4. 11 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 1D CNN sinyal mentah ..... | 42 |
| Tabel 4. 12 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 LSTM sinyal mentah.....    | 44 |
| Tabel 4. 13 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 1D CNN FFT.....            | 46 |
| Tabel 4. 14 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 LSTM FFT .....             | 48 |
| Tabel 4. 15 API documentation .....                                         | 50 |
| Tabel 4. 16 Format pengujian model .....                                    | 53 |
| Tabel 4. 17 Format pengujian black box.....                                 | 54 |
| Tabel 4. 18 Format UAT .....                                                | 56 |
| Tabel 4. 19 Hasil pengujian model .....                                     | 57 |
| Tabel 4. 20 Hasil pengujian black box.....                                  | 59 |
| Tabel 4. 21 Hasil UAT .....                                                 | 60 |

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian .....                                                                  | 10 |
| Gambar 3. 2 Development Lifecycle .....                                                                 | 11 |
| Gambar 4. 1 Perbandingan sinyal pernapasan normal dan apnea .....                                       | 19 |
| Gambar 4. 2 Perancangan kerja model .....                                                               | 20 |
| Gambar 4. 3 Channels .....                                                                              | 21 |
| Gambar 4. 4 Fungsi FFT .....                                                                            | 21 |
| Gambar 4. 5 Perbandingan sinyal Non-FFT dan FFT .....                                                   | 22 |
| Gambar 4. 6 Arsitektur 1D CNN .....                                                                     | 24 |
| Gambar 4. 7 Arsitektur model LSTM .....                                                                 | 26 |
| Gambar 4. 8 Fungsi Callback .....                                                                       | 28 |
| Gambar 4. 9 Alur integrasi model dengan web API .....                                                   | 29 |
| Gambar 4. 10 Anotasi Sinyal pasien 027 .....                                                            | 30 |
| Gambar 4. 11 offset anotasi sinyal pasien 027 .....                                                     | 30 |
| Gambar 4. 12 sinyal pasien 027 sebelum penyesuaian durasi .....                                         | 31 |
| Gambar 4. 13 Anotasi setelah penyesuaian .....                                                          | 32 |
| Gambar 4. 14 sinyal pasien 027 setelah penyesuaian durasi .....                                         | 33 |
| Gambar 4. 15 Anotasi setelah penyesuaian untuk segmen sinyal .....                                      | 34 |
| Gambar 4. 16 Sinyal yang telah disesuaikan untuk segmentasi .....                                       | 35 |
| Gambar 4. 17 Fungsi Trim .....                                                                          | 36 |
| Gambar 4. 18 Fungsi penyatuan sinyal .....                                                              | 37 |
| Gambar 4. 19 (a) segmen normal dan (b) segmen apnea dengan channel Flow, Sum, Abdomen, SpO2 .....       | 37 |
| Gambar 4. 20 Fungsi untuk memuat dan normalisasi data .....                                             | 38 |
| Gambar 4. 21 Pembagian dataset .....                                                                    | 40 |
| Gambar 4. 22 Fungsi Konversi CSV ke EDF .....                                                           | 41 |
| Gambar 4. 23 Perbandingan confusion matrix skenario 1 (a) dan skenario 2 (b) 1D CNN sinyal mentah ..... | 43 |
| Gambar 4. 24 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN sinyal mentah .....            | 43 |
| Gambar 4. 25 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN sinyal mentah .....               | 44 |
| Gambar 4. 26 Perbandingan confusion matrix skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah .....            | 45 |
| Gambar 4. 27 Perbandingan grafik kurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah .....               | 45 |
| Gambar 4. 28 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah .....                 | 46 |

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4. 29 Perbandingan confusion matrix skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT ..... | 47 |
| Gambar 4. 30 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT .....   | 47 |
| Gambar 4. 31 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT ..         | 48 |
| Gambar 4. 32 Perbandingan confusion matrix skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT .....   | 49 |
| Gambar 4. 33 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT .         | 49 |
| Gambar 4. 34 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT .....        | 50 |
| Gambar 4. 35 Response API .....                                                      | 51 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR LAMPIRAN**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Lampiran 1 Surat izin observasi..... | 70 |
| Lampiran 2 Form UAT (1).....         | 71 |
| Lampiran 3 Form UAT (2).....         | 72 |
| Lampiran 4 Form UAT (3).....         | 73 |
| Lampiran 5 Form UAT (4).....         | 74 |
| Lampiran 6 Form UAT (5).....         | 75 |





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Sleep apnea* adalah gangguan tidur yang ditandai dengan henti napas sesaat secara berulang, mengganggu siklus pernapasan saat tidur (Manullang and Resfita, 2021). Gangguan ini terdiri atas tiga jenis, yaitu *central sleep apnea* (CSA), *obstructive sleep apnea* (OSA), dan *complex sleep apnea* (MSA), dengan OSA sebagai jenis yang paling sering ditemukan. OSA terjadi karena adanya sumbatan pada saluran napas atas, umumnya terjadi pada pria, penderita obesitas, dan mereka yang tidur terlentang. CSA disebabkan oleh gangguan saraf, sedangkan MSA adalah kombinasi OSA dan CSA cc. Sleep apnea yang tidak diatasi dapat menyebabkan masalah kesehatan serius seperti hipertensi, aritmia, dan gagal jantung (Wasey et al., 2022). Prevalensi OSA di Asia pada masyarakat produktif berkisar antara 4,1% hingga 7,5%, dengan obesitas dan merokok sebagai faktor risiko utama (Annisarahma et al., 2024).

Deteksi sleep apnea dapat dilakukan melalui pemeriksaan di rumah sakit atau laboratorium tidur, namun metode ini kurang efektif. Alternatif lain yang telah dikembangkan melibatkan penggunaan sinyal pernapasan untuk mendeteksi sleep apnea. Sinyal pernapasan, yang merekam aktivitas pernapasan individu, dapat dianalisis menggunakan algoritma machine learning untuk mengidentifikasi episode apnea selama tidur (Ganglberger et al., 2022).

Menurut penelitian (Ao & He, 2023), *deep learning* memiliki performa yang unggul, bahkan melampaui kinerja kardiolog dalam klasifikasi ECG. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa klasifikasi berbasis citra menggunakan *convolutional neural network* (CNN) menghasilkan akurasi yang setara dengan model berbasis data mentah.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini penulis akan mengembangkan dan menerapkan perangkat lunak yang mampu memprediksi terjadinya sleep apnea dengan menganalisis data yang diperoleh dari pola sinyal pernapasan pasien,



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

aplikasi berbasis web diperlukan untuk dapat mendeteksi *sleep apnea* dengan mengimplementasikan model deep learning pada sinyal pernapasan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah ditentukan berdasarkan latar belakang diatas sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang model untuk mendeteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*?
2. Bagaimana membangun model untuk mendeteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*?
3. Bagaimana pengujian yang dilakukan pada model deteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, berikut adalah batasan masalah yang ditetapkan:

1. Penelitian ini menggunakan dataset sinyal pernapasan yang bersumber dari Physionet dan IMERI UI.
2. Penelitian ini hanya menggunakan sinyal pernapasan seperti SpO<sub>2</sub>, *Flow*, *Sum*, *Abdomen* milik pasien anonim untuk proses deteksi sleep apnea.
3. Pembuatan model deteksi *sleep apnea* dengan *deep learning* menggunakan *library* TensorFlow.
4. Model LSTM digunakan sebagai model pembanding.
5. Penelitian ini hanya akan fokus pada deteksi OSA yang diindikasikan oleh gangguan pada saluran napas atas. Tidak akan mencakup deteksi jenis Sleep Apnea lainnya, seperti CSA atau MSA.
6. Dalam penelitian ini, metode FFT digunakan secara eksklusif dan tidak dilakukan perbandingan dengan metode transformasi lainnya, seperti STFT atau CWT, yang juga bisa digunakan untuk tujuan serupa.
7. Model ini hanya dapat mendeteksi OSA yang dialami pengguna menggunakan sinyal pernapasan dengan *output* nilai akurasi dan hasil deteksi (ya atau tidak).



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## 1.4 Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang model untuk mendeteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*.
2. Membangun model untuk mendeteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*.
3. Melakukan pengujian model deteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*.

### 1.4.2 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah membantu tenaga medis mendiagnosis *sleep apnea* secara cepat, akurat, dan efisien menggunakan sinyal pernapasan, serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya deteksi dini untuk kualitas hidup yang lebih baik.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penyusunan skripsi ini, penulisan diorganisasi secara sistematis ke dalam beberapa bab, sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang relevan dan mendukung dalam proses perancangan, pengembangan, dan pelaksanaan penelitian sistem.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk rancangan penelitian, tahapan penelitian, dan objek penelitian yang menjadi fokus.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**BAB IV**

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan analisis pengujian, meliputi deskripsi prosedur pengujian model deteksi sleep apnea berbasis citra representasi sinyal pernapasan dengan deep learning, serta analisis data atau evaluasi hasil pengujian.

**BAB V**

**PENUTUP**

Bab terakhir berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan serta pengujian lebih lanjut di masa mendatang.





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Model deep learning berbasis 1D CNN dan LSTM yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan performa yang bervariasi tergantung pada jenis data input dan arsitektur yang digunakan. Setelah dilakukan pengujian terhadap data sinyal pernapasan dari beberapa rekaman EDF dengan ukuran dan kompleksitas berbeda, ditemukan bahwa model LSTM yang dikombinasikan dengan ekstraksi fitur menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) menghasilkan deteksi yang paling realistis dan tidak berlebihan. Sebagai contoh, pada file sdb3 yang memiliki ukuran besar (315 MB), LSTM dengan FFT hanya mendeteksi 0 segmen apnea, sedangkan model CNN dan CNN dengan FFT mendeteksi hingga 230 dan 239 segmen apnea secara berurutan, yang mengindikasikan kemungkinan *false positive* tinggi. Sebaliknya, LSTM dengan FFT cenderung lebih konservatif dan tampak selaras dengan estimasi klinis yang masuk akal.

Dari sisi performa, model CNN dan CNN+FFT menunjukkan kecepatan yang tinggi, rata-rata 22–30 detik per *file*, dan konsistensi hasil pada data berukuran kecil. Namun, model LSTM, meskipun lebih lambat (hingga 1 menit 28 detik), memiliki sensitivitas temporal yang lebih baik dalam kasus tertentu dan performa yang lebih stabil saat dioptimalkan dengan transformasi FFT. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa arsitektur LSTM dan FFT menjadi kandidat terbaik dalam hal keseimbangan antara keakuratan dan realisme deteksi untuk implementasi awal sistem pendeteksi apnea berbasis sinyal pernapasan. Meski begitu, sistem ini bersifat pendukung dan belum dapat dijadikan alat diagnosis utama. Evaluasi dan verifikasi lebih lanjut oleh tenaga medis profesional tetap diperlukan untuk penentuan diagnosis yang valid dan menyeluruh.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## 5.2 Saran

Beberapa rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang meliputi:

- Peningkatan variasi data pelatihan. Untuk meningkatkan generalisasi model, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan lebih banyak variasi data sinyal pernapasan dari berbagai subjek, usia, dan kondisi klinis. Hal ini penting agar model dapat mengenali pola apnea dengan lebih akurat pada populasi yang lebih luas..
- Ekseplorasi arsitektur *hybrid*. Hasil menunjukkan bahwa LSTM dengan ekstraksi fitur FFT memberikan hasil deteksi yang lebih realistis dan stabil. Oleh karena itu, penggabungan arsitektur CNN dan LSTM (hybrid CNN-LSTM) dapat dieksplorasi untuk memanfaatkan kekuatan keduanya, yaitu kemampuan spasial CNN dan temporal LSTM.
- Penambahan *channel*. Penelitian ini masih terbatas pada beberapa *channel* seperti *flow*, *sum*, *abdomen*, dan *SpO2*. Untuk meningkatkan akurasi deteksi, saran ke depan adalah menambahkan kanal seperti *ribcage* dan *pulse rate* selama *channel* tersedia dan relevan.
- Implementasi model ke dalam sistem yang dapat digunakan secara *real-time* atau *semi-real-time*, seperti perangkat *wearable*, dapat menjadi langkah lanjutan. Namun, perlu diperhatikan efisiensi komputasi dan optimasi kecepatan inferensi.
- Pengujian menggunakan sinyal yang memiliki *noise*. Pengujian ini dapat dilakukan untuk memastikan dan menguji kemampuan model dalam melakukan klasifikasi.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abd-alrazaq, A., Aslam, H., AlSaad, R., Alsahli, M., Ahmed1, A., Damseh, R., Aziz, S., & Sheikh, J. (2024). Detection of Sleep Apnea Using Wearable AI: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Medical Internet Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/58187>
- Amal, R. A.-N., Nadine, A., Antonisamy, B., Ibrahim, J., Ahmed, A., & Abu-Hasan, M. (2025). The High Prevalence of Continuous Paradoxical Breathing During Sleep in Children With Obesity and Its Relationship With Obstructive Sleep Apnea. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.77479>
- Annisarahma, L., Karima, N., Sangging, P. R. A., & Rudiyanto, W. (2024). Obstructive Sleep Apnea (OSA) pada Usia Produktif. *Journal of Medula*.
- Ao, R., & He, G. (2023). Image based deep learning in 12-lead ECG diagnosis. *Frontiersin*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frai.2022.1087370>
- Coronel, C., Wiesmeyr, C., Garn, H., Kohn, B., Wimmer, M., Mandl, M., Glos, M., Penzel, T., Klösch, G., Stefanic-Kejik, A., Böck, M., Kaniusas, E., & Seidel, S. (2020). Detection of Respiratory Events by Respiratory Effort and Oxygen Desaturation. *Journal of Medical and Biological Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40846-020-00524-9>
- Ganglberger, W., Blucklin, A. A., Tesh, R. A., Cardoso, M. D. S., Sun, H., Leone, M. J., Paixao, L., Panneerselvam, E., Ye, E. M., Thompson, B. T., Akeju, O., Kuller, D., Thomas, R. J., & Westover, M. B. (2022). Sleep apnea and respiratory anomaly detection from a wearable band and oxygen saturation. *PubMed*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11325-021-02465-2>
- Gosala, B., Kapgate, P. D., Jain, P., Chaurasia, R. N., & Gupta, M. (2023). Wavelet transforms for feature engineering in EEG data processing: An application on Schizophrenia. *Science Direct*, 85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104811>
- Khairunisa, N. K., & Hendikawati, P. (2024). Long Short-Term Memory and Gated



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Recurrent Unit Modeling for Stock Price Forecasting. *Journal Unhas*, 21, 321–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/j.v21i1.35930>

Lukas, Praptiwi, R. A., Priandika, A. T., Suaidah, & Alita, D. (2024). Implementasi REST API pada Manajemen Stok Barang Berbasis Aplikasi Web (Studi Kasus: PT Jon Kuliner Indonesia). *Jurnal Teknik Komputer Universitas Diponegoro*, 3. <https://doi.org/DOI:10.14710/jtk.v3i1.46234>

Nasichah, S. D., & Astuti Rochiatun. (2025). Analisis sinyal Plethysmogram dengan Metode Transmisi dan Reflektansi. *Universitas Airlangga*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0163250>

Ndun, Y. G., Bitin, P., & Arrizal, A. F. R. (2025). Implementasi Algoritma FFT untuk Deteksi Nada dalam Analisis Frekuensi Suara. *Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 4. <https://doi.org/10.29407/2g141y12>

Nur, A. K. P., & Ichsanuddin, D. (2023). Penggunaan Bahasa Python untuk Analisis dan Visualisasi Data Penduduk. *Jurnal JPM Universitas Samawa*. <https://doi.org/DOI: 10.5281/zenodo.10037661>

Petmezas, G., Stefanopoulos, L., Kilintzis, V., Tzavelis, A., Rogers, J. A., Katsaggelos, A. K., & Maglaveras, N. (2024). State-of-the-Art Deep Learning Methods on Electrocardiogram Data: Systematic Review. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute(MDPI)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/38454>

Saian, H. L. W., & Nugraha, P. O. (2023). Penerapan Framework Flask pada Pembangunan Sistem Informasi Pemasok Barang. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 7. <https://doi.org/DOI: 10.35870/jtik.v7i2.729>

Troester, M. M., Quan, S. F., Berry, R. B., Plante, D. T., Abreu, A. R., Alzoubaidi, M., Bandyopadhyay, A., DelRosso, L., Ebben, M., Kwon, Y., Mao, M.-M., Munir, S. S., Pressman, M. R., Rodriguez, A. J., Ryals, S., So, J. Y., Vaughn, B. V., & Thomas, S. M. (2023). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events*. AASM (American Academy of Sleep Medicine).



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Wang, Y., Chen, Z., Tian, S., Zhou, S., Wang, X., Xue, L., & Wu, J. (2022). Convolutional Neural Network-Based ECG-Assisted Diagnosis for Coal Workers. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute(MDPI)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph20010009>



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**



Penulis bernama Praba Arya Elmahdi, lahir di Kota Serang, Banten pada 17 Ooktober 2002. Penulis pernah menuntut ilmu di SMP Islam Al-Azhar 11 Serang (2015-2018) dan MAN 2 Kota Serang (2018-2021). Penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta dan luulus pada tahun 2025.

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Surat izin observasi



## UNIVERSITAS INDONESIA FAKULTAS KEDOKTERAN

Gedung Fakultas Kedokteran UI  
Jl. Salemba Raya No.6, Jakarta 10430  
PO.Box 1358  
T. 62.21.3912477, 31930371, 31930373,  
3922977, 3927360, 3153236,  
F 62 21 3912477, 31930372, 3157288,  
E. humas@fk.ui.ac.id, office@fk.ui.ac.id  
fk.ui.ac.id

### NOTA DINAS

Nomor: ND-2152/UN2.F1.D1/SDM.05/2025

Yth. : Ketua Departemen Neurologi  
Dari : Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura, dan Administrasi Umum  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : Permohonan Tanggapan Izin Observasi

Sehubungan dengan surat dari Politeknik Negeri Jakarta nomor 2744/PL3/PK.01.09/2025 tanggal 6 Maret 2025 perihal tersebut di atas, dengan ini kami mohon tanggapan terkait permohonan izin observasi di departemen Saudara dan permohonan izin staf Saudara yaitu:

Dr. dr. Astri Budikayanti, Sp.S.

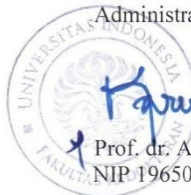
untuk menjadi pembimbing kedua mahasiswa program studi Teknik Informatika Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta, yaitu:

| No | Nama Mahasiswa     | NIM        | Judul Penelitian                                                                                                                      |
|----|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Wahyu Agung Utomo  | 2107412007 | "Sistem Deteksi Berbasis Web Untuk Kelainan Tidur Sleep Apnea Melalui Transformasi Sinyal Pernafasan ke Citra Berbasis Deep Learning" |
| 2  | Praba Arya Elmahdi | 2107412023 |                                                                                                                                       |

Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terima kasih.

18 Maret 2025

Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura, dan  
Administrasi Umum,



Prof. dr. Anis Karuniawati, Sp.MK(K), Ph.D.  
NIP.196509171991102001

Tembusan:

1. Wakil Direktur Bidang Kemahasiswaan Politeknik Negeri Jakarta; dan
2. Dr. dr. Astri Budikayanti, Sp.S.



## Lampiran 2 Form UAT (1)

### Formulir Persetujuan Setelah Penjelasan (Informed Consent)

User Acceptance Testing (UAT) Aplikasi SleepWell

#### Deskripsi Singkat:

Anda diundang untuk berpartisipasi dalam proses UAT terhadap aplikasi SleepWell, sebuah aplikasi berbasis web untuk membantu mendeteksi gangguan tidur seperti sleep apnea berdasarkan sinyal pernapasan. UAT ini bertujuan untuk menilai fungsionalitas, keandalan, serta pengalaman pengguna sebelum peluncuran versi final aplikasi.

#### Tujuan Kegiatan:

Menilai kelayakan aplikasi SleepWell melalui umpan balik pengguna setelah mencoba seluruh fitur, mulai dari pembuatan akun, penggunaan fitur unggah data, hingga melihat hasil deteksi.

#### Tugas Partisipan:

- Membuat akun pada aplikasi SleepWell
- Mengisi dan menyimpan data profil
- Mengunggah file uji (.edf/.csv)
- Memilih model prediksi (CNN/LSTM)
- Melihat dan menilai hasil deteksi

#### Hak dan Kerahasiaan:

- Partisipasi Anda bersifat sukarela dan dapat dibatalkan kapan saja tanpa konsekuensi.
- Semua data yang Anda berikan hanya digunakan untuk keperluan evaluasi sistem.
- Data pribadi (email, nama, dan lain-lain) akan dijaga kerahasiaannya dan tidak dibagikan kepada pihak ketiga.

#### Keuntungan bagi Partisipan:

- Membantu pengembangan sistem yang bermanfaat bagi deteksi gangguan tidur.

#### Risiko atau Ketidaknyamanan:

- Tidak terdapat risiko fisik dalam proses ini.
- Hasil yang ditampilkan dari aplikasi bukan merupakan diagnosis medis final.

#### Pernyataan Persetujuan:

Saya menyatakan bahwa saya telah membaca dan memahami informasi di atas. Saya bersedia berpartisipasi dalam UAT aplikasi SleepWell secara sukarela dan memberikan data/penilaian.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## Lampiran 3 Form UAT (2)

### Biodata Penguji

Nama Lengkap : Dr. Dinda Larastika Riyanto, Sp.N.  
Email : dindalriyanto@gmail.com  
Tanggal : 07 Juli 2025

- ☒ Saya menyetujui untuk mengikuti UAT dan memberikan umpan balik secara sukarela.  
☐ Saya menyadari bahwa hasil deteksi tidak menggantikan diagnosis dokter.

Tanda Tangan

Dr. Dinda Larastika Riyanto, Sp.N.  
Departemen Neurologi RSCM - FKUI

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## Lampiran 4 Form UAT (3)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Formulir User Acceptance Testing (UAT) SleepWell

#### SleepWell – UAT

Form ini dibuat untuk melakukan User Acceptance Testing (UAT) terhadap aplikasi SleepWell. Aplikasi ini digunakan untuk mendeteksi sleep apnea berdasarkan sinyal pernapasan. Anda diminta untuk membuat akun sendiri, mencoba seluruh fitur dalam aplikasi, dan memberikan penilaian berdasarkan pengalaman penggunaan. Mohon isi form ini setelah mencoba seluruh proses dari awal hingga akhir. Masukan Anda sangat membantu dalam proses penyempurnaan sistem.

#### Bagian Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

- Apakah Anda berhasil membuat akun tanpa kendala?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah login ke aplikasi berjalan lancar?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah Anda dapat mengisi dan menyimpan data profil Anda?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah Anda berhasil mengunggah file sinyal pernapasan (.edf / .csv)?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah pilihan model (CNN/LSTM) tersedia dan berfungsi?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah hasil deteksi ditampilkan dengan jelas dan dapat dipahami?  
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5  
(1 = Tidak Jelas, 5 = Sangat Jelas)
- Apakah riwayat hasil deteksi Anda tersimpan dan dapat dilihat kembali?  
☒ Ya ☐ Tidak

#### Bagian Pengujian Fungsionalitas Model Deteksi Sleep Apnea

- Apakah Anda berhasil mendeteksi obstructive sleep apnea?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah hasil deteksi sesuai dengan kriteria obstructive sleep apnea?  
☒ Ya ☐ Tidak



## Lampiran 5 Form UAT (4)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Apakah output deteksi mudah dapat dipahami?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☒ 4   ☐ 5  
(1 = Sulit, 5 = Sangat Mudah)
- Apakah data yang digunakan untuk melatih AI valid?  
☒ Ya   ☐ Tidak

### Bagian Pengalaman Pengguna (UX/UI)

- Seberapa mudah Anda menggunakan aplikasi ini?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☒ 5  
(1 = Sangat Sulit, 5 = Sangat Mudah)
- Bagaimana penilaian Anda terhadap tampilan antarmuka aplikasi (desain/UI)?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☒ 5

(1 = Tidak Menarik, 5 = Sangat Menarik)

- Seberapa cepat aplikasi merespons tindakan Anda?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☒ 4   ☐ 5  
(1 = Sangat Lambat, 5 = Sangat Cepat)
- Apakah Anda menemukan error/bug selama menggunakan aplikasi?  
☐ Ya   ☒ Tidak

### Bagian Masukan dan Kesimpulan

- Fitur apa yang paling membantu menurut Anda?
  - Kemampuan aplikasi untuk dapat mendeteksi sleep apnea dan penurunan saturasi, serta menampilkan gambaran visual gelombang





## Lampiran 6 Form UAT (5)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Fitur mana yang menurut Anda masih perlu ditingkatkan?
  - Signal elektroda yang digunakan untuk selanjutnya perkembangan dapat ditambahkan thoracal/ribcage serta thermal
  - Perhitungan jumlah apnea/durasi tidur agar didapatkan nilai apnea-hipopnea index (AHI)
- Apakah aplikasi ini sudah layak untuk digunakan secara umum?  
☒ Ya      ☐ Tidak      ☐ Belum Yakin

- Saran dan kritik untuk pengembangan aplikasi lebih lanjut:

- Pematangan signal2 yang digunakan
- Penambahan perhitungan index
- Penggunaan sampel pasien untuk validasi aplikasi yang lebih baik

- Saran dan kritik untuk pengembangan model/AI lebih lanjut:

- Saat ini sudah sangat baik

Demikian formulir ini disusun sebagai bagian dari kegiatan evaluasi sistem aplikasi SleepWell. Kami sangat menghargai partisipasi Anda dalam memberikan umpan balik demi penyempurnaan aplikasi ini ke depannya.

Atas waktu dan kesediaan Anda, kami ucapkan terima kasih.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian berjudul “*Classification of Brainwaves for Sleep Stages by High-Dimensional FFT Features from EEG Signals*” yang dilakukan oleh Mera Kartika Delimayanti ini berfokus pada klasifikasi tahapan tidur berdasarkan sinyal EEG menggunakan fitur FFT berdimensi tinggi. Metode yang digunakan adalah Random Forest dan SVM dengan seleksi fitur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fitur domain frekuensi yang diekstraksi melalui FFT secara signifikan meningkatkan akurasi model hingga 89,19%. Penelitian ini menyoroti pentingnya fitur domain frekuensi dalam analisis sinyal EEG untuk deteksi kondisi tidur.

Penelitian oleh K. E. Ch Vidyasagar et al. dengan judul “*Signal to Image Conversion and Convolutional Neural Networks for Physiological Signal Processing: A Review*” membahas konversi sinyal EEG, ECG, dan EMG menjadi representasi citra 2D menggunakan teknik seperti FFT, CWT, dan STFT. Representasi citra ini digunakan sebagai input untuk model CNN VGG16, yang meningkatkan akurasi deteksi, klasifikasi, dan analisis berbagai kondisi fisiologis.

Penelitian oleh Raditya Arya Prasetyo dengan judul “*Model Deteksi Sleep Apnea Dari Sinyal Fisiologis Jantung Dengan Deep Learning*” mengembangkan model deteksi *sleep apnea* menggunakan sinyal ECG. Model dilatih dengan CNN menggunakan metode FFT dan tanpa FFT. Hasilnya, model dengan FFT unggul dalam pelatihan, sedangkan model tanpa FFT memberikan hasil lebih baik pada data uji baru.

Kombinasi transformasi sinyal pernapasan menggunakan STFT, deep learning berbasis CNN, serta pemrosesan fitur yang optimal dapat menjadi solusi efektif untuk mendeteksi sleep apnea.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## 2.2 Sleep Apnea

*Sleep apnea* adalah gangguan tidur yang menyebabkan henti napas berulang selama tidur, mengakibatkan kualitas tidur buruk dan berbagai komplikasi kesehatan. Gejala utama meliputi mendengkur keras, terbangun karena tersedak atau sulit bernapas, rasa kantuk berlebih di siang hari, kesulitan fokus, dan perubahan suasana hati, seperti mudah marah atau depresi (Abd-alrazaq et al., 2024).

## 2.3 Sinyal Pernapasan

Sinyal pernapasan merujuk pada berbagai indikator fisiologis yang digunakan untuk mengamati aktivitas pernapasan individu. Pengawasan ini dapat melibatkan pengukuran aliran udara, pergerakan dada dan perut, serta tingkat saturasi oksigen dalam darah. Alat seperti *plethysmography* induktif pernapasan sering kali digunakan untuk mengukur variasi volume di dada dan perut selama siklus pernapasan. Selain itu, alat pengukur tekanan nasal dan termistor dimanfaatkan untuk mendeteksi aliran udara melalui saluran pernapasan bagian atas. Pemantauan sinyal-sinyal ini sangat penting untuk diagnosis dan pengelolaan gangguan pernapasan, seperti apnea tidur (Coronel et al., 2020). *Polysomnography* (PSG) adalah studi tidur komprehensif yang merekam berbagai parameter fisiologis saat tidur. Dalam konteks pernapasan, PSG mencatat aliran udara (*flow*), usaha pernapasan (*abdomen* dan *sum*), dan saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) untuk mengevaluasi pola pernapasan (Troester et al., 2023).

### 2.3.1 Sinyal Flow

Sinyal flow dalam konteks pemantauan pernapasan adalah representasi dari aliran udara yang masuk dan keluar dari saluran napas selama siklus pernapasan. Dalam sistem *respiratory inductance plethysmography* (RIP), sinyal ini tidak diukur secara langsung seperti pada *spirometer*, melainkan diturunkan dari perubahan impedansi yang terekam oleh pita sensor di dada dan perut. Perubahan impedansi tersebut terjadi karena gerakan mekanik dinding dada dan abdomen saat seseorang bernapas, yang kemudian digunakan untuk mengestimasi kecepatan dan arah aliran udara (inspirasi atau ekspirasi).



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Penelitian (Nasichah & Astuti Rochiatun, 2025) menunjukkan bahwa sinyal RIP-flow memiliki korelasi tinggi dengan sinyal aliran napas yang dihasilkan dari metode non-kontak, dengan nilai korelasi  $r = 0,89 \pm 0,06$ . Ini menunjukkan bahwa meskipun metode ini tidak mengukur aliran secara langsung, sinyal flow yang



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dihasilkan dari RIP tetap mampu merepresentasikan pola aliran udara secara akurat, terutama selama pemantauan tidur. Dengan demikian, sinyal flow RIP menjadi alternatif yang berguna dalam pemantauan gangguan pernapasan non-invasif seperti sleep apnea.

### 2.3.2 Sinyal Abdomen

Sinyal perut atau abdomen berkaitan dengan informasi yang diperoleh dari pengamatan pergerakan atau perubahan ukuran di bagian perut saat bernapas. Mirip dengan sinyal dada, pengukuran ini dapat dilakukan dengan metode seperti plethysmography induktif pernapasan (RIP). Memantau sinyal perut sangat penting untuk menilai peran pernapasan diafragma dan dapat membantu dalam menganalisis pola pernapasan yang tidak normal (Coronel et al., 2020).

### 2.3.3 SpO<sub>2</sub>

Sinyal SpO<sub>2</sub> adalah ukuran non-invasif yang menampilkan proporsi hemoglobin dalam darah yang terkait dengan oksigen. Pengukuran ini dilakukan dengan alat pulse oximeter, yang biasanya diletakkan di jari atau daun telinga. Rentang nilai SpO<sub>2</sub> yang normal adalah antara 95% hingga 100%. Pemantauan SpO<sub>2</sub> sangat penting dalam berbagai penyakit untuk memastikan bahwa jaringan tubuh mendapatkan oksigen yang cukup (Coronel et al., 2020).

### 2.3.4 Sinyal Sum

Sinyal sum merupakan sinyal yang dihasilkan dari penggabungan sinyal toraks dan abdomen dalam sistem RIP. Kedua sinyal ini menunjukkan perubahan volume yang terjadi sebagai hasil dari proses pernapasan, dan mengintegrasikan keduanya memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh tentang keseluruhan aktivitas pernapasan individu (Amal et al., 2025). Karena dada dan perut berkontribusi bersama dalam proses respirasi, sinyal sum menjadi indikator yang kuat untuk mengevaluasi pola pernapasan normal dan abnormal.

Sinyal ini memiliki peranan yang sangat krusial dalam mengenali gangguan seperti pernapasan paradoks, di mana pergerakan dada dan perut tidak sejalan (berlawanan arah). Dalam situasi ini, amplitude dari sinyal total bisa menurun atau bahkan datar.



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Sinyal sum juga berfungsi dalam pengelompokan apnea dan hipopnea, yang memudahkan dalam membedakan jenis apnea (sentral, obstruktif, atau campuran) berdasarkan kontribusi dari gerakan berbagai bagian tubuh. Dengan kata lain, sinyal total mendukung analisis klinis terhadap sinyal bernapas dengan menggabungkan informasi dari dua sumber utama yang terkait dengan pergerakan respirasi..

## 2.4 Deep Learning

*Deep learning* adalah bagian dari *machine learning* yang berfokus pada pembelajaran data melalui berbagai tingkat abstraksi. Teknologi ini menggunakan jaringan saraf tiruan yang terinspirasi oleh cara otak manusia memproses informasi untuk mengidentifikasi pola dari data mentah. (Petmezas et al., 2024). Salah satu alasan utama *deep learning* begitu kuat adalah kemampuannya untuk menangkap fitur-fitur kompleks dari data tanpa kebutuhan rekayasa fitur yang ekstensif. Kinerja *deep learning* dalam melakukan klasifikasi citra ECG menggunakan CNN dapat dibandingkan dengan model terbaik dari data sinyal mentah yang sama (Ao & He, 2023). *Deep learning* akan digunakan dalam penelitian ini karena performa yang sudah teruji dalam melakukan klasifikasi citra ECG.

### 2.4.1 Convolutional Neural Network (CNN)

CNN adalah arsitektur *deep learning* yang dirancang untuk memproses data dengan struktur grid, seperti citra atau sinyal satu dimensi. Dalam konteks analisis sinyal elektrokardiogram (ECG), CNN digunakan untuk mengekstraksi fitur-fitur penting secara otomatis dari sinyal mentah, yang kemudian dapat digunakan untuk klasifikasi atau deteksi anomali. Keunggulan CNN terletak pada kemampuannya dalam mengenali pola kompleks tanpa memerlukan ekstraksi fitur manual. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa CNN efektif dalam mendiagnosis berbagai kondisi jantung berdasarkan sinyal ECG (Wang et al., 2022).

### 2.4.2 Long Short-Term Memory

Long Short-Term Memory (LSTM) merupakan suatu metode yang pertama kali diperkenalkan oleh Hochreiter dan Schmidhuber pada 1997. Model LSTM adalah tipe jaringan saraf berulang yang dirancang khusus untuk mengatasi masalah



#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

gradient yang meledak dan gradient yang lenyap, yang sering terjadi saat mempelajari ketergantungan jangka panjang. Jaringan LSTM dapat mengaitkan informasi yang telah ada sebelumnya dengan informasi yang akan datang, dan kemampuan untuk menyimpan informasi dalam jangka panjang sangat penting untuk memproses data deret waktu. Jaringan LSTM meningkatkan memori jangka panjang secara lebih efisien dengan menambahkan lebih banyak parameter dalam proses pembelajaran. Model LSTM terdiri dari lapisan input, lapisan tersembunyi, dan lapisan output. LSTM melibatkan elemen seperti memory cell dan gerbang, di mana gerbang tersebut mencakup bagian seperti forget gate, input gate, dan output gate. Dari elemen tersebut, LSTM terdiri dari tiga gerbang dan satu memory cell yang dapat melupakan atau mengingat informasi guna menentukan jumlah informasi yang perlu dipindahkan ke sel berikutnya (Khairunisa & Hendikawati, 2024).

## 2.5 Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur adalah proses mengubah data sinyal mentah menjadi fitur numerik yang dapat diproses, dengan tetap mempertahankan informasi penting dari data sinyal mentah aslinya. Memilih fitur yang tepat dari data merupakan langkah yang sangat penting, karena fitur yang diekstraksi dengan baik akan memberikan hasil yang lebih baik dalam proses klasifikasi dan prediksi suatu penyakit. Fitur yang diekstraksi bertujuan untuk meminimalkan kehilangan informasi penting yang terdapat dalam sinyal (Gosala et al., 2023).

Ekstraksi fitur *domain* waktu adalah proses pengambilan karakteristik sinyal langsung dari bentuk amplitudo terhadap waktu tanpa perlu melakukan transformasi ke domain frekuensi. Dalam pendekatan ini, fitur dihitung berdasarkan statistik dasar dan dinamika sinyal, seperti rata-rata (*mean*), variansi, deviasi standar, RMS (*root mean square*), kurtosis, *skewness*, *entropy*, hingga jumlah *crossing* titik nol (*zero-crossing rate*). Tujuannya adalah menangkap pola bentuk sinyal dan perubahan nilai sepanjang waktu dengan cara yang komputasional ringan dan intuitif. Teknik ini sangat berguna dalam aplikasi biomedical, seperti analisis



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

sinyal pernapasan atau EEG, karena mampu mempertahankan informasi penting yang mencerminkan kondisi fisiologis seseorang.

Metode ekstraksi fitur lainnya adalah dengan *domain* frekuensi. Dalam *domain* frekuensi terutama mempelajari sinyal EEG dengan cara mengubah sinyal dari *domain* waktu menjadi domain frekuensi (frequency-domain). Perubahan ini menunjukkan hubungan antara frekuensi dan amplitudo yang sesuai, serta dapat menggali fitur-fitur yang lebih mendalam dari sinyal tersebut (Sun, J. et al, 2021).

### 2.5.1 Fast Fourier Transform (FFT)

FFT adalah algoritma yang mengubah sinyal suara dari *domain* waktu ke domain frekuensi, memungkinkan frekuensi dominan dalam sinyal untuk diidentifikasi dan diinterpretasikan sebagai notasi. FFT memungkinkan deteksi secara cepat dan akurat, sehingga cocok untuk sistem yang bertujuan mengenali notasi secara otomatis (Ndun et al., 2025).

### 2.6 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang *interpreted* dan serbaguna, mendukung pengembangan aplikasi dari skala kecil hingga besar. Dengan pustaka standar yang luas dan komunitas aktif, Python digunakan dalam berbagai bidang seperti pengembangan web, data *science*, *machine learning*, dan otomatisasi tugas karena kemampuannya dalam membangun model prediktif (Nur & Ichsanuddin, 2023).

### 2.7 Application Programming Interface (API)

API (Application Programming Interface) merupakan antarmuka yang memungkinkan komunikasi antara dua sistem atau aplikasi, biasanya melalui protokol seperti HTTP. REST API adalah salah satu jenis API yang mengikuti prinsip arsitektur REST, memungkinkan aplikasi web untuk melakukan operasi seperti membaca, menambah, mengubah, dan menghapus data secara efisien. REST API bersifat stateless dan dapat diintegrasikan dengan teknologi asynchronous untuk menangani data dalam jumlah besar secara simultan (Lukas et al., 2024). REST API dapat digunakan di berbagai bahasa pemrograman, termasuk *Python*.



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Dalam *Python*, *framework* seperti Flask menyediakan kapabilitas bagi pengembang untuk membangun layanan RESTful secara fleksibel dan ringan.

### 2.7.1 Flask

Flask merupakan microframework berbasis Python yang dirancang untuk membangun aplikasi web secara cepat dan terstruktur. Flask API digunakan untuk membangun sistem informasi pemasok barang yang memungkinkan komunikasi data antara perusahaan dan supplier secara real-time. Framework ini mendukung pengembangan RESTful API dengan fleksibilitas tinggi dan struktur yang sederhana (Saian & Nugraha, 2023).

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



#### Hak Cipta :

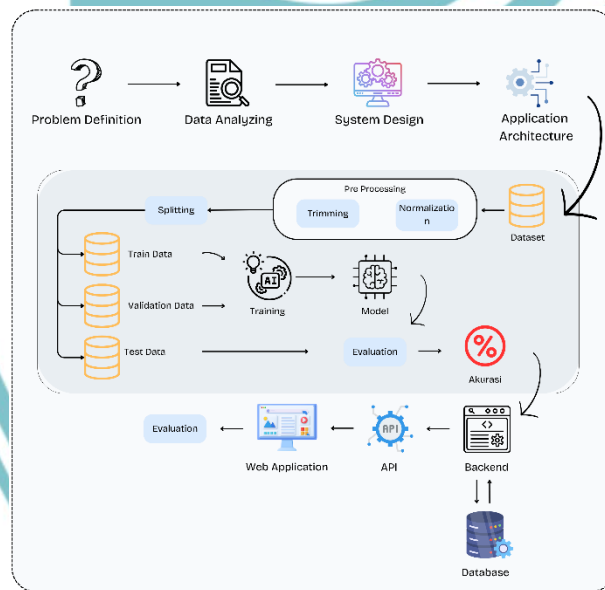
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan kualitatif, bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model deteksi OSA berbasis representasi citra dari hasil transformasi sinyal pernapasan menggunakan teknik STFT. Model yang digunakan mencakup LSTM dan 1D CNN, dan dataset dari sinyal pernapasan akan digunakan dalam pelatihan, validasi, dan pengujian model. Prototipe model diuji dalam lingkungan simulasi untuk mengukur akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan metrik evaluasi lainnya, guna mengevaluasi efektivitas metode yang diusulkan serta mengidentifikasi potensi perbaikan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan pada teknologi deteksi OSA berbasis *deep learning*.



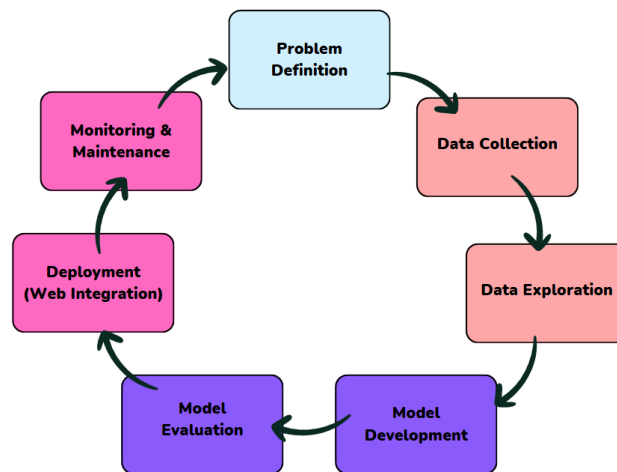
Gambar 3. 1 Rancangan Penelitian

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan rincian terbagi beberapa langkah sebagai berikut:

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 2 *Development Lifecycle*

### 3.2.1 Problem Definition

Penelitian ini bertujuan mendeteksi sleep apnea dari sinyal pernapasan dengan mengatasi tantangan ekstraksi fitur pada sinyal non-stasioner. Model berbasis *deep learning* dikembangkan untuk menganalisis sinyal.

### 3.2.2 Pengumpulan Data

Dataset sinyal pernapasan dalam penelitian ini didapatkan dari Physionet. Data yang terkumpul mencakup sinyal pernapasan yang telah terlabel, dengan indikasi apnea dan non-apnea.

### 3.2.3 Pra-pemrosesan Data

Proses *preprocessing* dilakukan dengan memotong sinyal menjadi segment dengan overlap sebagai salah satu augmentasi data dan memilah sinyal yang diperlukan sesuai arahan dokter. Segmen data yang telah dipilah kemudian dinormalisasi nilai amplitudonya menjadi nilai yang seragam.

### 3.2.4 Model Development

Pengembangan model *deep learning* dilakukan dengan CNN dan LSTM sebagai model pembanding. Proses pelatihan model CNN dan LSTM dilakukan dengan menggunakan dataset yang telah diproses sebelumnya. Selama pelatihan, dilakukan *tuning hyperparameter* seperti *batch size*, dan jumlah *epochs* untuk mencapai performa model yang optimal.

### 3.2.5 Model Evaluation

Evaluasi model dilakukan untuk mengukur performa model dalam mendeteksi *sleep apnea*. Metrik yang digunakan untuk mengevaluasi model adalah sebagai berikut:

#### A. Confusion Matrix

*Confusion matrix* digunakan untuk membuat visualisasi dan merangkum performa suatu algoritma klasifikasi atau model. Nilai – nilai dalam *confusion matrix* antara lain adalah sebagai berikut:

- *True Positive* (TP): data *apnea* diklasifikasi sebagai *apnea*
- *True Negative* (TN): data sehat yang diklasifikasikan sebagai normal
- *False Positive* (FP): data *apnea* yang diklasifikasikan sebagai normal.
- *False Negative* (FN): data normal yang diklasifikasikan sebagai *apnea*.

#### B. Akurasi

Akurasi adalah nilai yang digunakan untuk mengukur sejauh mana performa klasifikasi model deteksi *sleep apnea* mendeteksi dengan benar.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

#### C. Presisi

Presisi atau *precision* adalah nilai untuk mengukur seberapa baik model dalam menghindari kesalahan *false positive*

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

#### D. Recall

*Recall* mengukur kemampuan model untuk mendeteksi semua instance positif dengan benar.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

E. *F1-Score*

*F1-score* mengukur *harmonic mean* dari *precision* dan *recall*.

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

### 3.2.6 Deployment dan Integrasi Web

Setelah model berhasil dilatih dan dievaluasi, tahap deployment dilakukan untuk mengintegrasikan model ke dalam sistem operasional. Model di-*deploy* pada *application programming interface* di *cloud server* yang nantinya akan diintegrasikan dengan aplikasi berbasis web. Tahap integrasi dengan web akan dijelaskan pada penelitian lain dengan judul utama yang sama.

### 3.2.7 Monitoring and Maintenance

*Monitoring* dan *maintenance* model melibatkan beberapa langkah penting untuk memastikan performa model tetap optimal selama penggunaan nyata. Proses ini dilakukan dengan pemantauan performa, di mana metrik seperti akurasi model dan stabilitas dipantau secara berkala untuk mengidentifikasi potensi penurunan kinerja.

## 3.3 Objek Penelitian

Objek utama penelitian adalah model deteksi sleep apnea dari sinyal pernapasan dengan *deep learning*.

## 3.4 Framework yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan berbagai *framework* dan pustaka untuk mendukung pengembangan model deteksi sleep apnea dengan *deep learning*. Python digunakan sebagai bahasa pemrograman utama, didukung oleh Pandas, NumPy dan SciPy untuk pemrosesan sinyal dan pengaplikasian FFT. Library MNE digunakan untuk memproses data sinyal dengan format .edf. TensorFlow digunakan untuk membangun dan melatih model deep learning berbasis CNN dan LSTM. Flask



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

untuk pengembangan API, dan Google Colab dimanfaatkan untuk pengembangan dan pelatihan model berbasis *cloud* dengan GPU. Kombinasi alat ini memastikan efisiensi dalam pengolahan data dan pengembangan model.

### 3.5 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

#### 3.5.1 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang diterapkan pada penelitian ini yaitu melalui wawancara dan studi literatur. Wawancara akan dilakukan dengan ahli kesehatan, seperti dokter spesialis tidur sementara studi literatur dilakukan untuk menggali informasi dari penelitian sebelumnya, terutama terkait sinyal pernapasan.

#### 3.5.2 Analisis Data

Wawancara dengan dokter spesialis tidur untuk memastikan validitas sinyal pernapasan dan relevansi pendekatan. studi literatur. Eksperimen dilakukan untuk menentukan teknik terbaik untuk FFT serta pengembangan model CNN dan model LSTM sebagai pembanding. Kombinasi keduanya menjadi dasar pengembangan dan prototipe model deteksi *sleep apnea* berbasis *deep learning*.

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Kebutuhan

##### 4.1.1 Kebutuhan Pengembangan Model

Kebutuhan pengembangan model mencakup dua aspek utama, yaitu kebutuhan dataset dan kebutuhan model *deep learning*. Identifikasi kedua aspek ini krusial untuk menghasilkan model yang akurat dalam membedakan rekaman sinyal pernapasan pasien yang mengalami *sleep apnea* dari rekaman pasien normal.

##### 4.1.1.1 Kebutuhan Dataset

*Dataset* yang digunakan oleh penulis untuk membuat model *deep learning* adalah data publik dari *St. Vincent's University Hospital* yang telah diunggah di Physionet. Data yang tersedia sebanyak 26 pasien dengan 13 pasien terindikasi mengalami *event sleep apnea*. Setelah melakukan eksplorasi data, peneliti menetapkan spesifikasi data yang akan diproses oleh *deep learning*. Tabel 4.1 menjelaskan spesifikasi atau kebutuhan dataset yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4. 1 Kebutuhan dataset

| No | Nama                   | Deskripsi                                                                                                                 |
|----|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Jumlah <i>channel</i>  | <i>Dataset</i> memiliki 4 <i>channel</i> ( <i>Flow, Sum, Abdomen, SpO2</i> )                                              |
| 2  | Durasi rekaman         | <i>Dataset</i> memiliki durasi yang seragam                                                                               |
| 3  | Kondisi pasien         | Dataset berasal dari pasien yang mengalami <i>event sleep apnea</i>                                                       |
| 4  | Anonimitas Data Pasien | Identitas pasien yang digunakan harus anonim atau disamarkan sesuai dengan etika kedokteran dan perlindungan data pribadi |

##### 4.1.1.2 Kebutuhan Model

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tahap kedua pada identifikasi kebutuhan pengembangan model adalah identifikasi kebutuhan model. Identifikasi model diharapkan dapat memenuhi standar fungsionalitas dan kinerja yang dibutuhkan dalam proses klasifikasi sinyal pernapasan secara akurat. Tabel 4.2 menjelaskan secara rinci kebutuhan model yang akan dikembangkan pada penelitian ini.

Tabel 4. 2 Kebutuhan model

| No | Kategori   | Nama                                     | Deskripsi                                                                                                |
|----|------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Fungsional | Jumlah <i>channel</i> dan durasi rekaman | Model dapat mengklasifikasikan sinyal pernapasan 4 <i>channel</i> berulang kali dengan durasi 120 menit. |
| 2  | Kinerja    | Kecepatan                                | Model dapat mendeteksi <i>apnea</i> pada sinyal berdurasi 120 menit dalam 5 menit.                       |
| 3  | Kinerja    | Performa                                 | Akurasi model harus sama atau lebih dari penelitian sebelumnya.                                          |

#### 4.1.1.3 Kebutuhan API

Tahap ketiga pada identifikasi kebutuhan pengembangan model adalah identifikasi kebutuhan API. Identifikasi kebutuhan API dilakukan untuk memastikan data yang digunakan, cara kerja model, dan keluaran model seluruhnya valid. menjelaskan secara rinci kebutuhan API yang akan dikembangkan pada penelitian ini.

Tabel 4. 3 Kebutuhan API

| No | Kategori      | Deskripsi               |
|----|---------------|-------------------------|
| 1  | File Handling | Mendukung .edf dan .csv |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|   |                |                                                                                                                                                                                     |
|---|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2 | Validasi Input | 4 jenis <i>channel</i> ( <i>Flow</i> , <i>Sum</i> , <i>Abdomen</i> , dan <i>SpO2</i> ) yang diperlukan, Durasi rekaman lebih dari 120 menit                                         |
| 3 | Output Data    | <i>Response code</i> , <i>message</i> , jumlah <i>apnea</i> terdeteksi dalam 120 menit, visualisasi dari nilai terendah <i>SpO2</i> saat terindikasi <i>apnea</i> beserta nilainya. |

#### 4.1.2 Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional

Implementasi model deteksi *sleep apnea* dari sinyal pernapasan bertujuan mempermudah analisis dan deteksi secara digital. Berikut adalah target kebutuhan fungsional dan non-fungsional untuk implementasi sistem.

##### 1. Kebutuhan Fungsional

- a. Model dapat mendeteksi *sleep apnea* berdasarkan sinyal pernapasan.
- b. Model dapat memberikan output berupa hasil klasifikasi *sleep apnea* (ya atau tidak).

##### 2. Kebutuhan Non-Fungsional

- a. Model harus memiliki akurasi yang sama atau lebih dari penelitian sebelumnya
- b. Model dapat mendeteksi sinyal berdurasi 120 menit dalam waktu 5 menit.

#### 4.1.3 Kebutuhan Perangkat Keras

Detail perangkat keras yang digunakan untuk melatih dan menjalankan model adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Kebutuhan perangkat keras

| No | Nama | Deskripsi                 |
|----|------|---------------------------|
| 1  | CPU  | AMD Ryzen 5 5600H 3.3GHz. |
| 2  | GPU  | NVIDIA RTX 3050ti         |
| 3  | RAM  | 16GB                      |



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

#### 4.1.4 Kebutuhan Perangkat Lunak

Detail perangkat lunak yang digunakan untuk melatih dan menjalankan model:

Tabel 4. 5 Pustaka

| No | Nama               | Deskripsi                                                                                                                                           |
|----|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | SciPy              | Pustaka <i>open-source</i> di Python yang digunakan untuk komputasi ilmiah dan teknis, terutama dalam pemrosesan sinyal, optimisasi, dan statistik. |
| 2  | NumPy              | Pustaka fundamental untuk komputasi numerik di Python yang menyediakan struktur array multidimensi dan fungsi matematika tingkat tinggi.            |
| 3  | MNE                | Pustaka khusus untuk analisis data neurofisiologis seperti EEG dan PSG, sering digunakan untuk membaca dan memproses file EDF/BDF.                  |
| 4  | TensorFlow         | <i>Framework open-source</i> dari Google untuk membangun dan melatih model deep learning, termasuk CNN, LSTM, dan lainnya.                          |
| 5  | Sklearn            | Pustaka machine learning di Python yang menyediakan berbagai algoritma klasifikasi, regresi, <i>clustering</i> , serta alat evaluasi model.         |
| 6  | EDFBrowser         | Aplikasi untuk melihat visualisasi sinyal.                                                                                                          |
| 7  | Visual Studio Code | <i>Code editor</i> untuk mengimplementasikan model pada API.                                                                                        |
| 8  | Postman            | Aplikasi untuk uji coba API                                                                                                                         |

#### 4.2 Perancangan Sistem

Untuk merancang sistem model deep learning ini menggunakan Google Colab, python, dan *framework* Tensorflow untuk membuat model deteksi sleep apnea dari sinyal pernapasan. Perancangan sistem juga dilakukan dengan metode penerapan *apnea* yang berpedoman pada buku “*The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events*”.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

#### 4.2.1 Metode Penerapan *Apnea*

Pernapasan normal adalah proses fisiologis yang melibatkan inspirasi (menarik napas) dan ekspirasi (mengeluarkan napas) secara ritmis dan tanpa hambatan. Pernapasan normal memiliki ritme yang konsisten, tidak ada usaha berlebihan dalam bernapas, tidak ada periode panjang tanpa aliran udara, dan memiliki tingkat saturasi oksigen antara 90-95%. Kriteria dapat dipantau menggunakan sinyal pada *channel flow, sum, abdomen*, dan *SpO2*.

Pernapasan *apnea* dapat dipantau dengan *channel* yang sama dengan pernapasan normal. Kriteria *apnea* terjadi ketika terjadi penurunan atau penghentian total dari sinyal aliran udara (*flow*)  $\geq 90\%$  selama  $\geq 10$  detik, adanya usaha pernapasan secara terus – menerus pada sinyal *abdomen* dan *sum* meskipun tidak ada peningkatan aliran udara diikuti penurunan tingkat saturasi oksigen yang signifikan ( $<90\%$ ). Perbandingan kriteria normal dan *apnea* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Perbandinga kriteria *apnea*

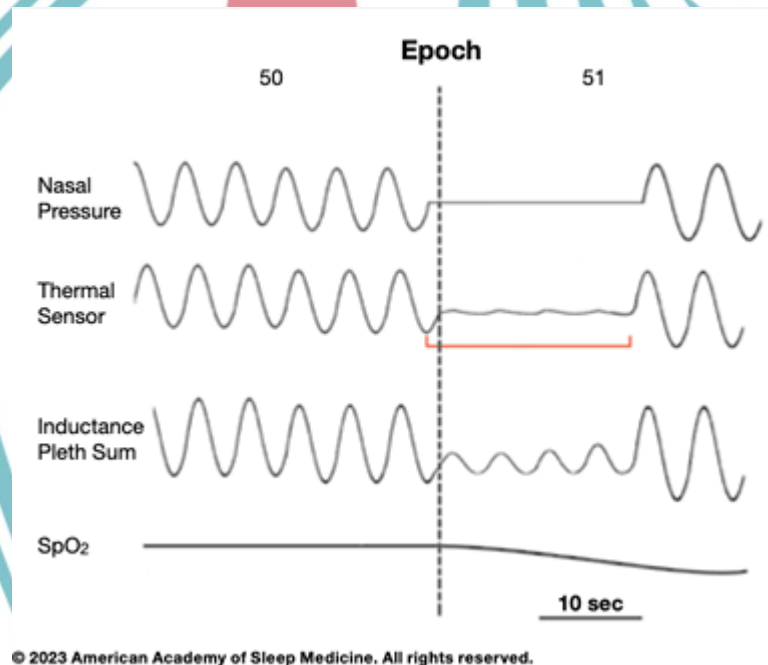
| No | Channel                       | Normal                                    | <i>Apnea</i>                                                                    |
|----|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | <i>Flow</i>                   | Ritme sinyal dan aliran udara konsisten.  | Terjadi pengurangan atau penghentian sinyal $\geq 90\%$ selama $\geq 10$ detik. |
| 2  | <i>Sum</i> dan <i>abdomen</i> | Tidak ada usaha berlebihan saat bernapas. | Usaha bernapas berlebihan tanpa diiringi peningkatan aliran udara.              |
| 3  | <i>SpO2</i>                   | Tingkat saturasi oksigen 90-95%.          | Tingkat saturasi oksigen dibawah 90%.                                           |

Identifikasi untuk diagnosa *apnea* diperlukan sinyal dari sensor *oronasal aiflow* atau aliran udara dari mulut dan hidung. Jika tidak terdapat atau sensor dari sinyal *oronasal airflow* tidak bekerja atau sinyal tidak jelas, maka alternatif yang dapat digunakan adalah sebagai berikut :

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- a. *Nasal pressure* atau tekanan udara yang diukur pada hidung (direkomendasikan).
- b. *Respiratory inductance plethysmography sum* (RIPsum) atau getaran pada dada dan perut (direkomendasikan).
- c. *Respiratory inductance plethysmography flow* (RIPflow) atau perubahan ukuran volume dada dan perut (direkomendasikan)
- d. *Polyvinylidene Fluoride sum* (PVDFsum) atau getaran pada dada dan perut. Sinyal PVDFsum dapat digunakan jika sinyal RIPsum tidak tersedia.



Gambar 4. 1 Perbandingan sinyal pernapasan normal dan *apnea*

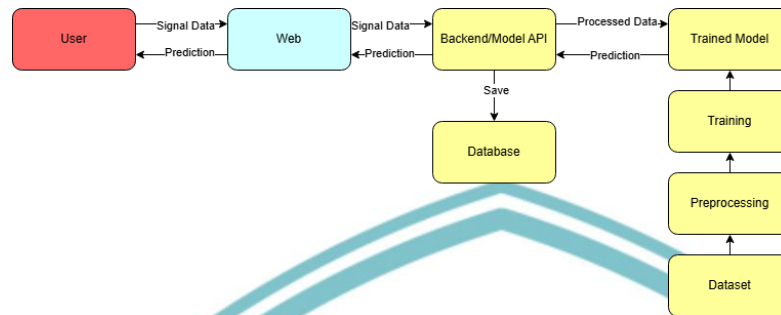
Sumber: (Troester et al., 2023)

Gambar 4.1 menunjukkan perbedaan antara sinyal pernapasan normal dan *apnea*. Sesuai dengan kriteria, sinyal pernapasan normal memiliki ritme yang konsisten tanpa ada penurunan saturasi oksigen. Pernapasan *apnea* ditandai oleh sinyal *sum* yang mengalami penurunan amplitudo selama 10 detik yang diikuti penurunan saturasi oksigen. Jika terdapat peningkatan saturasi oksigen sebesar 2% sebelum durasi 10 detik, maka pernapasan tidak dapat diklasifikasikan sebagai *apnea*.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### 4.2.2 Perancangan Kerja Model



Gambar 4. 2 Perancangan kerja model

Model deteksi sleep apnea dirancang untuk mengklasifikasikan sinyal pernapasan berdurasi 30 detik menjadi dua kelas: apnea dan normal. Sistem menerima input berupa file EDF yang berisi sinyal dari beberapa channel seperti SpO2, *Flow*, *Sum*, dan *Abdomen*, kemudian melakukan preprocessing berupa normalisasi dan penanganan data hilang (*NaN*, *inf*). Setelah itu, data diolah oleh arsitektur Convolutional Neural Network 1D (1D CNN) untuk mengekstrak fitur spasial, dan hasilnya digunakan untuk klasifikasi biner. Model yang telah dilatih kemudian diintegrasikan dengan *backend* API. Model ditanam pada *server* API yang sama dengan API yang terhubung ke *database* untuk menghindari *latency* yang tidak diperlukan.

### 4.2.3 Prampemrosesan Data

Dataset yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari IMERI UI dan dataset publik dari Physionet. Data yang digunakan berupa file .edf dengan indikasi “*apnea-o*”, “*apnea-m*”, “*apnea-c*”, “*hyp*” dengan “*m*” sebagai “*mixed*”, “*c*” sebagai “*central*”, dan “*o*” sebagai “*obstructive*”. File .edf ini berisi banyak saluran(*channels*) sinyal hasil rekaman pasien yang anonim. Data yang ada kemudian dipilah berdasarkan *channels* untuk memastikan sinyal yang digunakan merupakan sinyal dari *sum*, *flow*, *abdomen*, dan saturasi oksigen atau SpO2. Pemilihan *channels* ini dilakukan berdasarkan arahan dari ahli neurologi dari IMERI UI dan metode penerapan *apnea*. Channels yang telah dipilah kemudian disatukan kembali menjadi file .edf baru yang hanya berisi keempat *channel* tersebut.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Signals in file: (4 selected)

|    |         |        |
|----|---------|--------|
| 3  | EMG     | 64 Hz  |
| 4  | C3A2    | 128 Hz |
| 5  | C4A1    | 128 Hz |
| 6  | ECG     | 128 Hz |
| 7  | SpO2    | 8 Hz   |
| 8  | Sound   | 8 Hz   |
| 9  | Flow    | 8 Hz   |
| 10 | Sum     | 8 Hz   |
| 11 | ribcage | 8 Hz   |
| 12 | abdo    | 8 Hz   |
| 13 | BodyPos | 8 Hz   |

Gambar 4. 3 Channels

File. edf yang telah digabung kembali kemudian dipotong menjadi durasi 30 detik dengan *overlap* 1 detik di setiap tahap tidur kedua untuk memastikan bahwa fitur penting dalam sinyal tetap terjaga. Selanjutnya, sinyal diberi label “normal” atau “apnea” sesuai dengan keterangan di file aslinya. Tahap berikutnya adalah melakukan normalisasi sinyal agar semua sinyal berada dalam rentang nilai yang seragam.

Setelah data melalui prapemrosesan dan telah tersegmentasi, tahap selanjutnya adalah melakukan ekstraksi fitur dari segmen-segmen data sinyal yang ada. Ekstraksi fitur yang dilakukan adalah mengubah domain waktu sinyal menjadi domain frekuensi dengan *Fast Fourier Transform* (FFT). Proses penerapan FFT pada sinyal dilakukan dengan memanfaatkan pustaka SciPy yang menyediakan fungsi *Fast Fourier Transform*.

```
from scipy.fft import fft

def toFFT(samples):
    fft_data = []

    for sample in samples:
        sample_fft = fft(sample, axis=0)
        sample_fft = sample_fft.real.astype(np.float32)
        fft_data.append(sample_fft)

    fft_data = np.array(fft_data)

    fft_data = np.expand_dims(fft_data, axis=-1)

    print("toFFT done, new shape:", fft_data.shape)

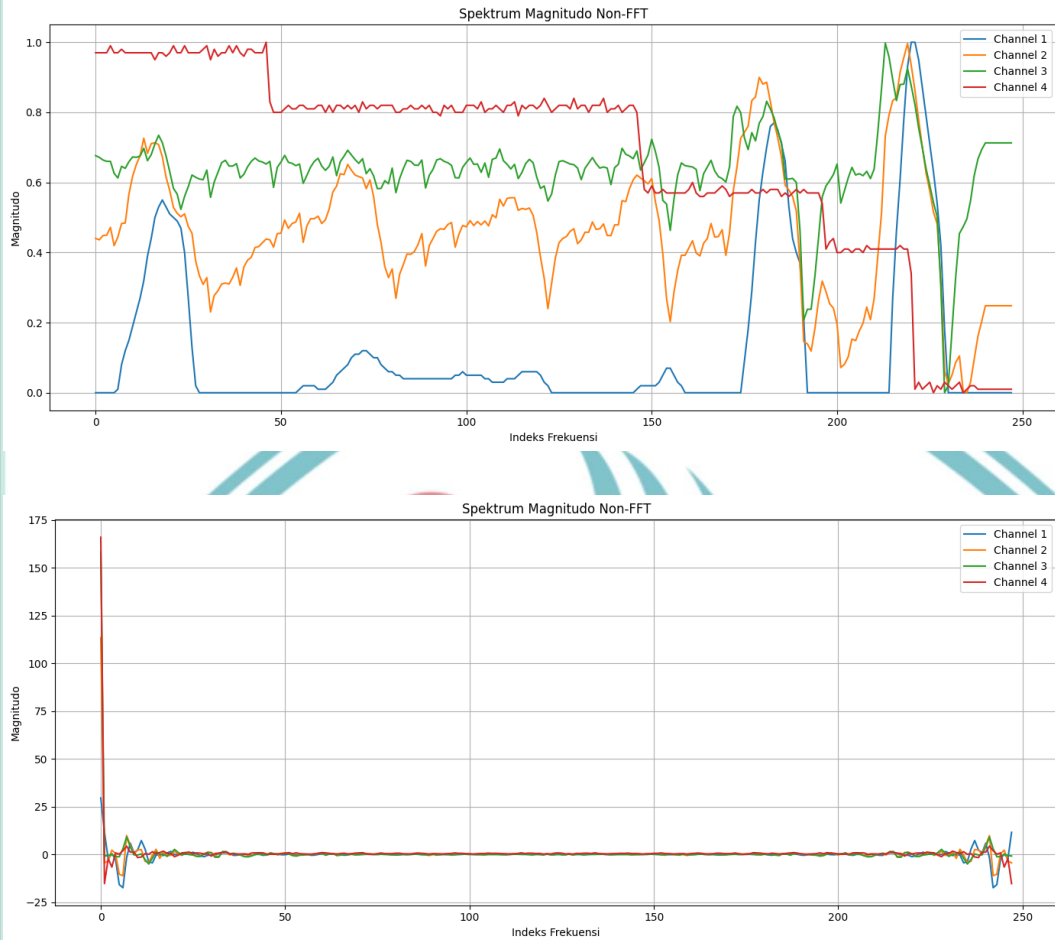
    return fft_data
```

codesnap.dev

Gambar 4. 4 Fungsi FFT

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 5 Perbandingan sinyal Non-FFT dan FFT

Dengan sampling rate sebesar 8.0 Hz dan durasi 30 detik, maka jumlah *data point* dalam setiap segment adalah  $8.0 \times 30 = 240$ . Namun, jumlah *data point* berubah menjadi 241 karena fungsi segmentasi pada library MNE menggunakan rentang waktu yang mencakup titik awal dan akhir waktu. Setiap segmen sinyal akan berbentuk array dengan dimensi  $4 \times 241$ , sesuai jumlah channel dan titik frekuensi. Setiap segmen ini kemudian disimpan dalam format .npy dan dikelompokkan ke dalam dua kelas, yaitu kelas apnea dan normal.

Sebagai perbandingan, jika ekstraksi fitur dilakukan tanpa menggunakan transformasi FFT, maka setiap segmen sinyal akan memiliki dimensi  $4 \times 241$ , yang mencerminkan data mentah pada domain waktu. Fitur domain waktu mempertahankan urutan dan bentuk asli dari sinyal, sementara fitur dari domain frekuensi menggambarkan karakteristik spektrum yang muncul dalam sinyal, seperti pola-pola frekuensi yang berulang atau potensi anomali.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

#### 4.2.2.1 Pembagian *Dataset*

Seluruh data yang berhasil diolah kemudian dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu data latih(*training set*), data validasi(*validation set*), dan data tes(*test set*). Pembagian dilakukan untuk memisahkan data yang digunakan untuk melatih model, melakukan evaluasi pada saat model dilatih, dan menguji model dengan data baru yang belum pernah diberikan sebelumnya. Tabel 4.5 menunjukkan hasil pembagian dataset pada penelitian ini.

Tabel 4. 7 Persentase pembagian data

| Nama Kelompok     | Skenario 1 | Skenario 2 |
|-------------------|------------|------------|
| <i>Training</i>   | 70%        | 80%        |
| <i>Validation</i> | 20%        | 10%        |
| <i>Test</i>       | 10%        | 10%        |

Penetapan kedua skenario ini didasarkan pada beberapa pertimbangan. Pada skenario pertama, proporsi data validasi lebih besar dibandingkan dengan data uji untuk mengoptimalkan proses pemantauan dan penyetelan parameter model selama pelatihan. Data validasi yang banyak diharapkan dapat membantu dalam mencegah *overfitting*. Sementara itu, pada skenario kedua, proporsi data latih lebih besar agar model dapat mempelajari karakteristik data secara lebih menyeluruh, sehingga diharapkan menghasilkan performa yang lebih baik saat diujikan pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

#### 4.2.4 Perancangan Model Deep Learning

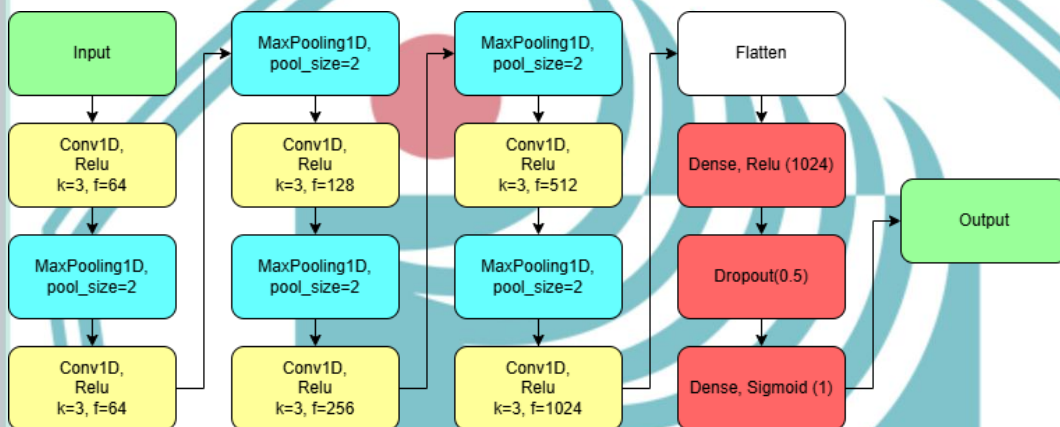
Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan deep learning untuk mendeteksi kejadian sleep apnea berdasarkan sinyal pernapasan, seperti sinyal sum, flow, pergerakan perut (abdomen), dan saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>). Model dilatih untuk mengenali pola dari sinyal fisiologis tersebut yang menunjukkan adanya apnea atau pernapasan normal.

Google Colab dimanfaatkan sebagai *notebook* interaktif untuk melatih model deteksi *sleep apnea*. Model yang digunakan dalam pendekatan ini adalah 1D

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

*Convolutional Neural Network (1D-CNN)* dan *Long Short-Term Memory (LSTM)*, yang masing-masing dilatih menggunakan dataset yang telah diolah sebelumnya. Pustaka seperti tensorflow, SciPy, NumPy, MNE, dan Sklearn akan digunakan untuk menunjang proses pelatihan model yang mencakup beberapa tahapan penting, seperti normalisasi nilai sinyal, serta pemilihan parameter pelatihan seperti jumlah *epoch*, ukuran *batch*, dan fungsi *loss* yang digunakan. Model juga akan dilatih dengan fungsi *callbacks* atau *early stop* yang memantau matriks untuk memberhentikan pelatihan jika kondisinya terpenuhi.



Gambar 4. 6 Arsitektur 1D CNN

Berdasarkan Gambar 4.5, arsitektur model CNN yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis CNN 1 dimensi 1D CNN yang dirancang untuk mengolah data sinyal pernapasan berdimensi waktu. Arsitektur ini terdiri dari lima lapisan Conv1D, masing-masing diikuti oleh lapisan MaxPooling1D, serta diakhiri dengan lapisan flatten, dua lapisan dense (*fully connected*), dan lapisan dropout. Setiap lapisan konvolusi menggunakan fungsi aktivasi ReLU (*Rectified Linear Unit*).

Setiap lapisan Conv1D menggunakan ukuran kernel sebesar 3, yang dipilih karena kemampuannya menangkap pola lokal yang pendek namun penting pada sinyal pernapasan. Ukuran kernel ini umum digunakan dalam pengolahan sinyal karena mampu mendeteksi fluktuasi kecil dalam periode waktu pendek. Jumlah filter pada masing-masing lapisan Conv1D meningkat secara bertahap dari 64, 128, 256, 512, hingga 1024. Peningkatan jumlah filter ini bertujuan untuk memungkinkan model menangkap fitur yang lebih kompleks pada sinyal seiring bertambahnya kedalaman jaringan.



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Setelah setiap lapisan konvolusi, digunakan lapisan MaxPooling1D dengan ukuran *pooling* 2. Fungsi dari pooling ini adalah untuk mereduksi dimensi temporal dari sinyal secara bertahap, sehingga mengurangi beban komputasi tanpa menghilangkan fitur penting. *Pooling* mempertahankan nilai maksimum dalam jendela tertentu, sehingga fitur dominan tetap terjaga.

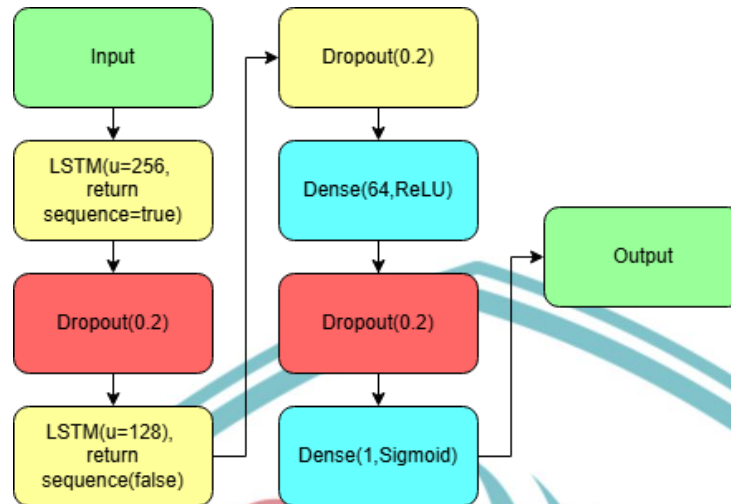
Lapisan *flatten* digunakan setelah seluruh proses konvolusi dan *pooling* selesai, untuk mengubah representasi multidimensi menjadi vektor satu dimensi agar bisa diproses oleh lapisan dense. Setelah flatten, terdapat lapisan dense (*fully connected*) dengan 1024 unit dan fungsi aktivasi ReLU, yang berfungsi mengintegrasikan informasi dari semua fitur yang telah dipelajari. Untuk mencegah overfitting, disisipkan pula lapisan dropout dengan rasio 0.5, yang secara acak menonaktifkan 50% neuron selama pelatihan.

Terakhir, pada bagian *output*, digunakan lapisan *dense* dengan satu *neuron* dan aktivasi sigmoid. Fungsi sigmoid mengubah output menjadi nilai antara 0 dan 1, yang selanjutnya ditafsirkan sebagai kelas “apnea” (0) atau “normal” (1). Pemilihan aktivasi sigmoid sangat cocok untuk kasus klasifikasi biner seperti pada penelitian ini.

Penggunaan CNN 1 dimensi dalam penelitian ini sangat sesuai karena sinyal pernapasan yang digunakan memiliki bentuk sekuensial satu dimensi (waktu). CNN 1D memungkinkan model menangkap fitur spasial dan temporal secara efisien, tanpa perlu mengubah sinyal ke bentuk dua dimensi seperti citra. Hal ini menjadikan CNN 1D sebagai arsitektur yang tepat dalam mendeteksi pola-pola yang mencirikan kondisi apnea dari sinyal fisiologis.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 7 Arsitektur model LSTM

Berdasarkan Gambar 4.7, model Long Short-Term Memory (LSTM) dalam penelitian ini dibangun dengan dua lapisan LSTM yang disusun secara bertingkat. Lapisan pertama menggunakan 256 unit, sedangkan lapisan kedua menggunakan 128 unit. Penurunan jumlah unit dari 256 ke 128 ini dilakukan dengan tujuan untuk menyaring dan menyaring kembali informasi penting secara bertahap. Lapisan pertama yang memiliki lebih banyak unit bertugas menangkap dinamika dan pola awal dalam urutan sinyal, sedangkan lapisan kedua memperdalam representasi dan menekankan fitur-fitur penting yang lebih abstrak.

Lapisan pertama LSTM menggunakan parameter `return_sequences=True`, yang berarti bahwa setiap langkah waktu (*timestamp*) dalam urutan sinyal akan menghasilkan output. Hal ini penting karena lapisan LSTM kedua membutuhkan seluruh urutan *output* dari lapisan pertama sebagai *input*. Tanpa `return_sequences=True`, hanya output dari *timestamp* terakhir yang akan diteruskan, yang dapat menyebabkan kehilangan informasi temporal. Sebaliknya, lapisan LSTM kedua tidak menggunakan `return_sequences` karena tujuannya adalah menghasilkan satu vektor akhir yang mewakili keseluruhan urutan.

Setiap lapisan LSTM diikuti oleh lapisan dropout dengan rasio 0.2, yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan *overfitting*. Dropout bekerja dengan menonaktifkan sebagian neuron secara acak selama proses pelatihan, sehingga mendorong jaringan untuk tidak terlalu bergantung pada fitur tertentu dan meningkatkan generalisasi.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Setelah dua lapisan LSTM, model dilanjutkan dengan lapisan dense (*fully connected*) berjumlah 64 unit yang menggunakan fungsi aktivasi ReLU. Fungsi ini digunakan untuk menyederhanakan output dan menekankan nilai positif, yang dianggap lebih relevan dalam konteks pembelajaran fitur. Lapisan ini berperan sebagai jembatan antara output fitur dari LSTM dan proses klasifikasi akhir. Lapisan dense ini juga diberi *dropout* tambahan sebagai regularisasi lanjutan.

Terakhir, terdapat lapisan *output dense* dengan satu neuron dan fungsi aktivasi sigmoid, yang menghasilkan nilai antara 0 hingga 1. *Output* ini mewakili probabilitas bahwa suatu sinyal termasuk dalam kelas "apnea" atau "normal". Karena tugas yang dihadapi adalah klasifikasi biner, fungsi sigmoid sangat tepat digunakan pada bagian output untuk menghasilkan hasil prediksi akhir.

Penggunaan LSTM dalam penelitian ini sangat relevan mengingat karakteristik data berupa sinyal waktu. LSTM unggul dalam mengenali dependensi jangka panjang antar timestamp dalam data sekuensial. Ini memungkinkan model untuk mempelajari dinamika pernapasan pasien dalam durasi tertentu dan mendeteksi pola-pola apnea secara temporal. Dengan memanfaatkan memori internal dari LSTM, model mampu mempertahankan konteks penting dari urutan sinyal tanpa kehilangan makna temporalnya.

Selain arsitektur model, didefinisikan pula hyperparameter dari model yang akan dikembangkan yang tertuang dalam Tabel 4.10. Kelima hyperparameter model disamakan agar dapat dibandingkan dan diambil model dengan akurasi terbaik.

Tabel 4. 8 Hyperparameter Model

| Matriks              | 1D CNN                     | LSTM                       |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Batch Size</i>    | 32                         | 32                         |
| <i>Loss Function</i> | <i>Binary_crossentropy</i> | <i>Binary_crossentropy</i> |
| <i>Epochs</i>        | 50                         | 50                         |
| <i>Learning Rate</i> | 0.0001                     | 0.0001                     |

|           |      |      |
|-----------|------|------|
| Optimizer | Adam | Adam |
|-----------|------|------|

Fungsi *callback* atau *early stop* digunakan untuk menghentikan lebih awal fase pelatihan model jika tidak terdapat peningkatan performa. Fungsi *callback* ini juga dapat digunakan untuk menghemat waktu pelatihan. Penggunaan fungsi *callback* ini juga dapat menghemat daya komputasi yang digunakan untuk melatih model.

```
callbacks = [
    tf.keras.callbacks.EarlyStopping(patience=5, restore_best_weights=True)
]
```

Gambar 4. 8 Fungsi Callback

Fungsi *callback* ini memantau performa *validation\_loss* (default) pada saat pelatihan model. Pemantauan ini dilakukan dengan nilai *patience* = 5 yang artinya pelatihan akan dihentikan jika nilai *validation\_loss* tidak meningkat dalam 5 *epochs* berturut - turut. Parameter selanjutnya adalah *restore\_best\_weights* = *True* yang berfungsi untuk mengembalikan bobot model terbaik jika pelatihan sudah selesai. Parameter ini mencegah model berhenti dan memiliki performa yang lebih buruk jika diakhir pelatihan performa model turun.

Callback ini juga berperan penting dalam mengurangi risiko *overfitting*, yaitu kondisi saat model terlalu banyak berlatih pada *training data* sehingga performanya menurun pada data validasi atau data baru. Dengan menghentikan pelatihan lebih awal ketika tidak ada peningkatan pada *validation\_loss*, model dipaksa berhenti sebelum terlalu banyak belajar dari noise atau pola tidak umum. Sebaliknya, penggunaan *callback* juga dapat membantu mengidentifikasi *underfitting*, yakni kondisi saat model belum cukup belajar dari data. Jika nilai *validation\_loss* masih terus membaik sebelum batas *patience* tercapai, pelatihan akan tetap berlanjut untuk memberikan kesempatan bagi model mencapai performa yang optimal.

#### 4.2.5 Integrasi Web Application Programming Interface (Deployment)

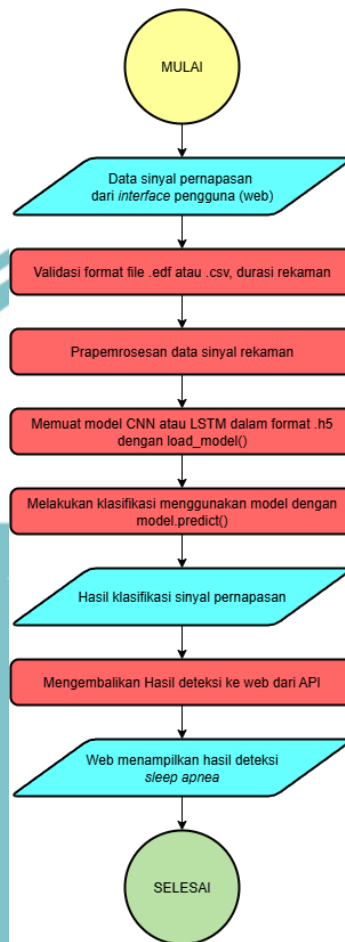
Tahap terakhir dari perancangan model *deep learning* adalah tahap integrasi model dengan web *application programming interface*(API) atau tahap *deployment*. Tahap ini mengintegrasikan model dengan program *backend* pada *cloud server* agar

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

dapat menerima dan mendeteksi data sinyal pasien. Gambar 4.8 menjelaskan alur kerja integrasi model dan API dengan antarmuka yang dapat diakses oleh pengguna.



Gambar 4. 9 Alur integrasi model dengan web API

API akan dirancang untuk dapat menerima *file* rekaman sinyal pernapasan dengan format .edf dan .csv dari pengguna web. *File* yang diterima kemudian akan divalidasi formatnya yang dilanjutkan dengan prapemrosesan data dan prediksi dari sinyal pernapasan yang dilakukan oleh model. Hasil prediksi kemudian dikembalikan ke pengguna dan akan ditampilkan dalam situs web.

## 4.3 Implementasi Sistem

### 4.3.1 Implementasi Model

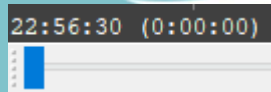
Model akan memproses raw data signal dan data yang telah melalui prapemrosesandata. Hal ini dilakukan untuk memperoleh hasil klasifikasi yang

optimal dan memahami kontribusi preprocessing data dan feature extraction terhadap peningkatan performa model deep learning.

#### 4.3.1.1 Data Mentah Sinyal Pernapasan

| Respiratory Event List |                   |       |          |              |       |       |         |      |        |
|------------------------|-------------------|-------|----------|--------------|-------|-------|---------|------|--------|
| Time                   | Respiratory Event |       | Duration | Desaturation |       | Snore | Arousal | B/T  |        |
|                        | Type              | PB/CS |          | Low          | %Drop |       |         | Rate | Change |
| 23:14:11               | APNEA-O           |       | 12       | 88.6         | 5.3   | -     | +       | 84.1 | 5.4    |
| 23:14:32               | HYP-O             |       | 16       | 89.8         | 2.8   | -     | +       |      |        |
| 23:15:16               | HYP-C             |       | 15       | 90.6         | 2     | -     | -       |      |        |
| 23:15:42               | HYP-C             |       | 21       | 90.6         | 2     | -     | +       |      |        |
| 23:17:05               | APNEA-O           |       | 15       | 88.5         | 7.3   | -     | -       |      |        |
| 23:17:44               | HYP-O             |       | 17       | 88.6         | 6.9   | -     | +       |      |        |
| 23:18:07               | HYP-O             |       | 18       | 88.6         | 6.9   | -     | +       | 86.2 | 7.5    |
| 23:18:33               | HYP-O             |       | 17       | 88           | 5.8   | -     | +       | 85.5 | 7.9    |
| 23:19:11               | HYP-O             |       | 18       | 87.9         | 5.9   | -     | +       |      |        |
| 23:19:34               | HYP-O             |       | 15       | 87.9         | 5.9   | -     | +       | 81.9 | 6.8    |
| 23:19:54               | HYP-O             |       | 14       | 89.8         | 4     | -     | +       |      |        |
| 23:20:10               | HYP-O             |       | 17       | 88.7         | 4.9   | -     | +       | 78.2 | 9.1    |
| 23:20:41               | HYP-O             |       | 14       | 89.8         | 2.6   | -     | +       | 81.2 | 4.4    |
| 23:22:50               | APNEA-O           |       | 16       | 90.7         | 3.9   | -     | +       | 91   | 7.7    |
| 23:23:10               | APNEA-O           |       | 13       | 89.8         | 4.8   | -     | +       | 85.9 | 8.7    |

Gambar 4. 10 Anotasi Sinyal pasien 027



Gambar 4. 11 *offset* anotasi sinyal pasien 027

Data rekaman sinyal pernapasan perlu disesuaikan *offset* dari anotasi yang ada pada dataset. Anotasi yang ada memiliki *offset* dimana waktu yang dituliskan pada anotasi adalah waktu direkamnya sinyal pasien, bukan waktu pada file edf yang digunakan. Penyesuaian ini dilakukan dengan *offset* yang berbeda pada setiap pasiennya karena perekaman sinyal dilakukan pada waktu yang berbeda.

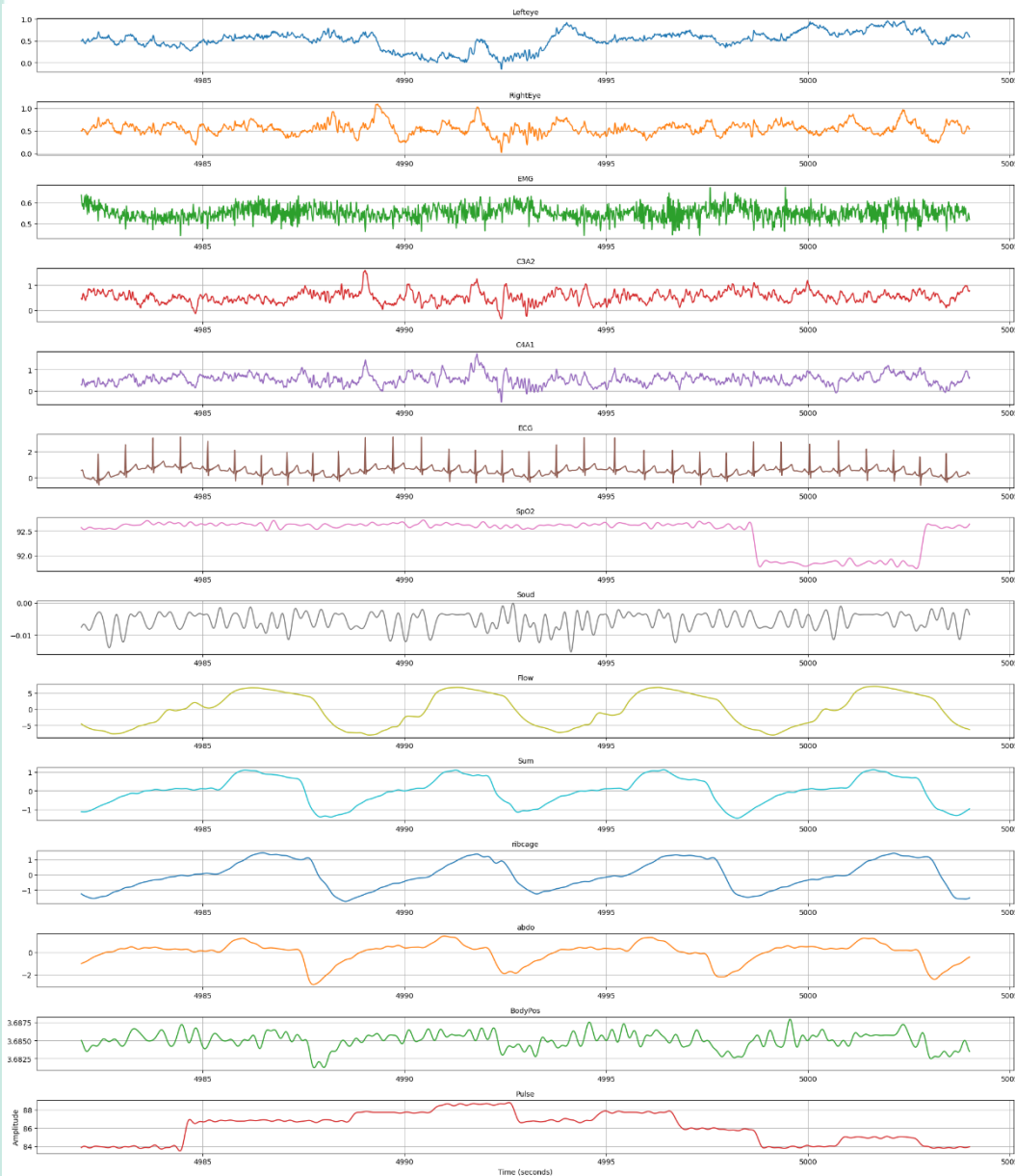
Pada Gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat bahwa file rekaman sinyal pasien 028 menunjukkan waktu 22:56:30 pada durasi 00:00:00. Hal ini menunjukkan bahwa file pasien 028 memiliki *offset* waktu selama 22 jam 56menit 30 detik. Penyesuaian

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

anotasi dilakukan untuk memastikan anotasi yang dituliskan sama dengan waktu pada *file* sinyal yang akan digunakan.



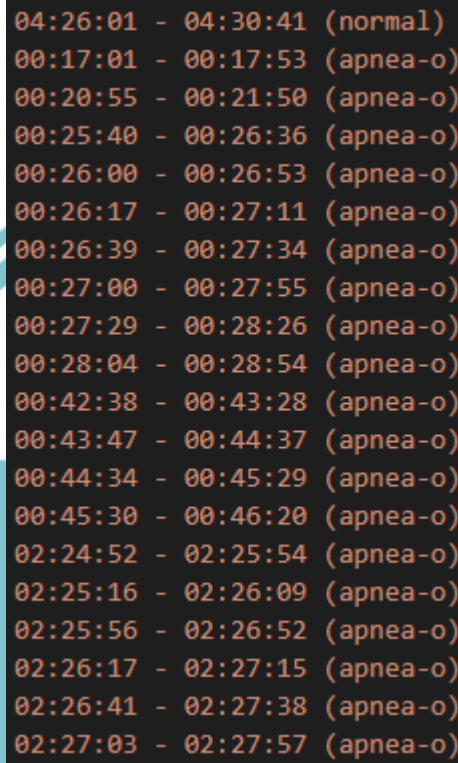
Gambar 4. 12 sinyal pasien 027 sebelum penyesuaian durasi

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa sinyal pasien 027 yang belum disesuaikan antara waktu dilakukannya rekaman dan waktu dalam file edf tidak menunjukkan adanya indikasi *apnea* pada *channel* *Flow*, *Sum*, *Abdomen*, dan *SpO2*. Contoh penyesuaian *offset* yang dilakukan pada *file* milik pasien 027 adalah dengan mengurangi waktu anotasi dengan *offset* atau 22 jam 56 menit 30 detik. Waktu yang telah disesuaikan adalah waktu dimulainya *event apnea* yang kemudian catat

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

sebagai “start”. Pada Gambar 4.10 terdapat label “*Type*” dan “*Duration*” dimana “*Type*” adalah *event* dan “*Duration*” adalah durasi terjadinya event terkait dalam satuan detik.



|          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| 04:26:01 | - | 04:30:41 | (normal)  |
| 00:17:01 | - | 00:17:53 | (apnea-o) |
| 00:20:55 | - | 00:21:50 | (apnea-o) |
| 00:25:40 | - | 00:26:36 | (apnea-o) |
| 00:26:00 | - | 00:26:53 | (apnea-o) |
| 00:26:17 | - | 00:27:11 | (apnea-o) |
| 00:26:39 | - | 00:27:34 | (apnea-o) |
| 00:27:00 | - | 00:27:55 | (apnea-o) |
| 00:27:29 | - | 00:28:26 | (apnea-o) |
| 00:28:04 | - | 00:28:54 | (apnea-o) |
| 00:42:38 | - | 00:43:28 | (apnea-o) |
| 00:43:47 | - | 00:44:37 | (apnea-o) |
| 00:44:34 | - | 00:45:29 | (apnea-o) |
| 00:45:30 | - | 00:46:20 | (apnea-o) |
| 02:24:52 | - | 02:25:54 | (apnea-o) |
| 02:25:16 | - | 02:26:09 | (apnea-o) |
| 02:25:56 | - | 02:26:52 | (apnea-o) |
| 02:26:17 | - | 02:27:15 | (apnea-o) |
| 02:26:41 | - | 02:27:38 | (apnea-o) |
| 02:27:03 | - | 02:27:57 | (apnea-o) |

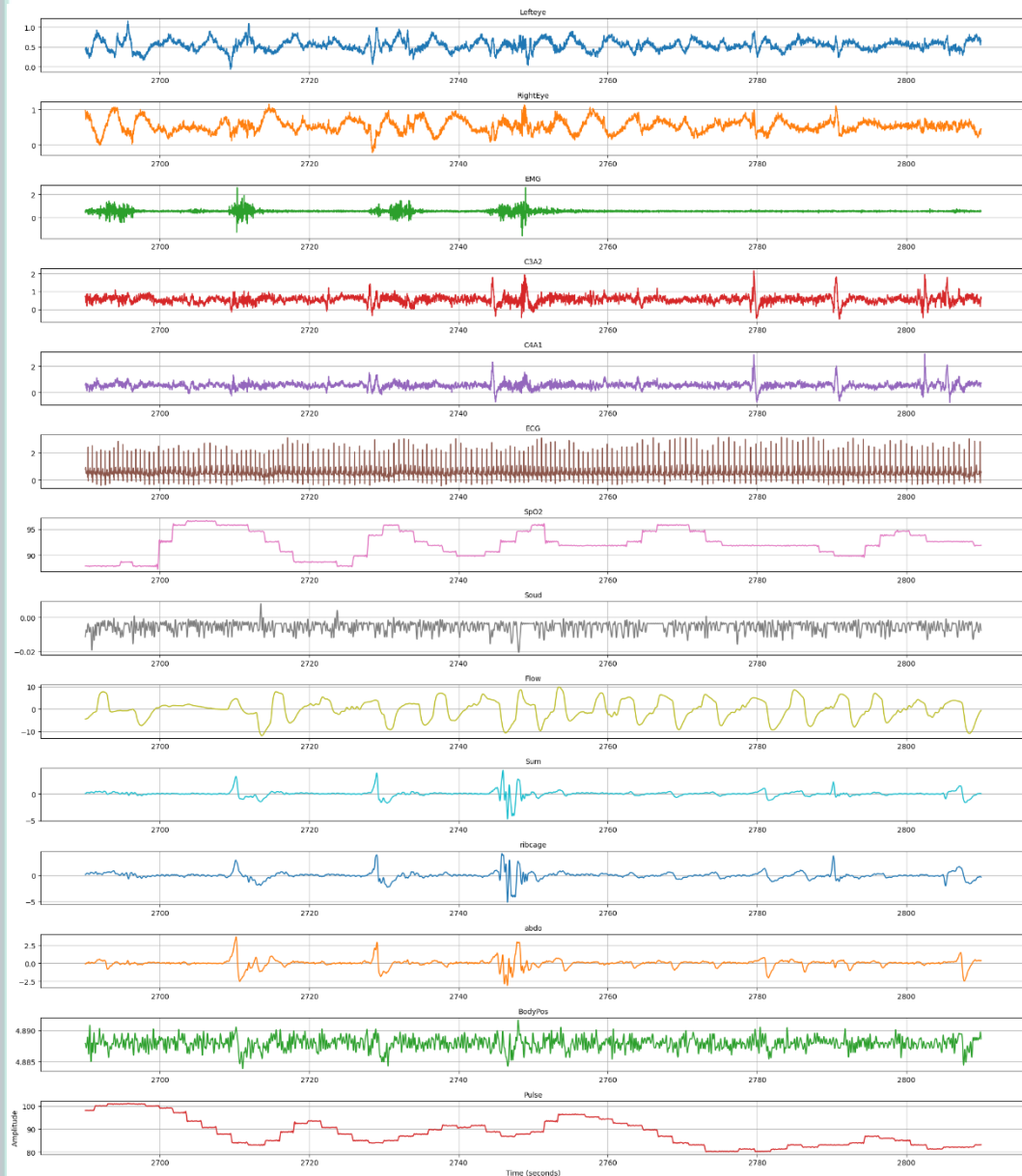
Gambar 4. 13 Anotasi setelah penyesuaian

Gambar 4.13 menunjukkan hasil penyesuaian durasi anotasi pada rekmana pasien 028 dengan format *start*, *end*, dan label. *Start* adalah waktu anotasi yang telah disesuaikan dengan *offset*, *end* adalah *start* yang ditambah dengan durasi *event*, dan

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

label adalah indikasi *event* terkait. Format ini digunakan untuk mempermudah proses segmentasi sinyal dengan label *apnea* dan *normal*.



Gambar 4. 14 sinyal pasien 027 setelah penyesuaian durasi

Gambar 4.14 adalah sinyal pasien 027 yang telah disesuaikan *offset* nya. Dari gambar tersebut terlihat pada *channel Flow*, *Sum*, *Abdomen*, dan *SpO2* akan adanya indikasi *apnea* dimana terjadi penurunan amplitudo pada *channel Flow*, *Sum*, dan *Abdomen*. Penurunan amplitudo pada ketiga *channel* ini juga disusul dengan penurunan saturasi oksigen pada *channel SpO2*.

|          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| 01:25:32 | - | 01:29:12 | (normal)  |
| 00:39:57 | - | 00:40:53 | (apnea-o) |
| 00:46:36 | - | 00:47:42 | (apnea-o) |
| 00:48:27 | - | 00:49:23 | (apnea-o) |
| 00:49:42 | - | 00:50:37 | (apnea-o) |
| 00:52:34 | - | 00:53:39 | (apnea-o) |
| 01:05:06 | - | 01:05:56 | (apnea-o) |
| 01:15:28 | - | 01:16:40 | (apnea-o) |
| 01:16:12 | - | 01:17:04 | (apnea-o) |
| 01:17:21 | - | 01:18:24 | (apnea-o) |
| 02:30:22 | - | 02:31:18 | (apnea-o) |
| 02:40:26 | - | 02:41:33 | (apnea-o) |
| 02:55:08 | - | 02:56:06 | (apnea-o) |
| 03:44:18 | - | 03:45:20 | (apnea-o) |
| 03:56:04 | - | 03:56:54 | (apnea-o) |
| 03:58:39 | - | 03:59:32 | (apnea-o) |
| 04:06:58 | - | 04:08:10 | (apnea-o) |

Gambar 4. 15 Anotasi setelah penyesuaian untuk segmen sinyal



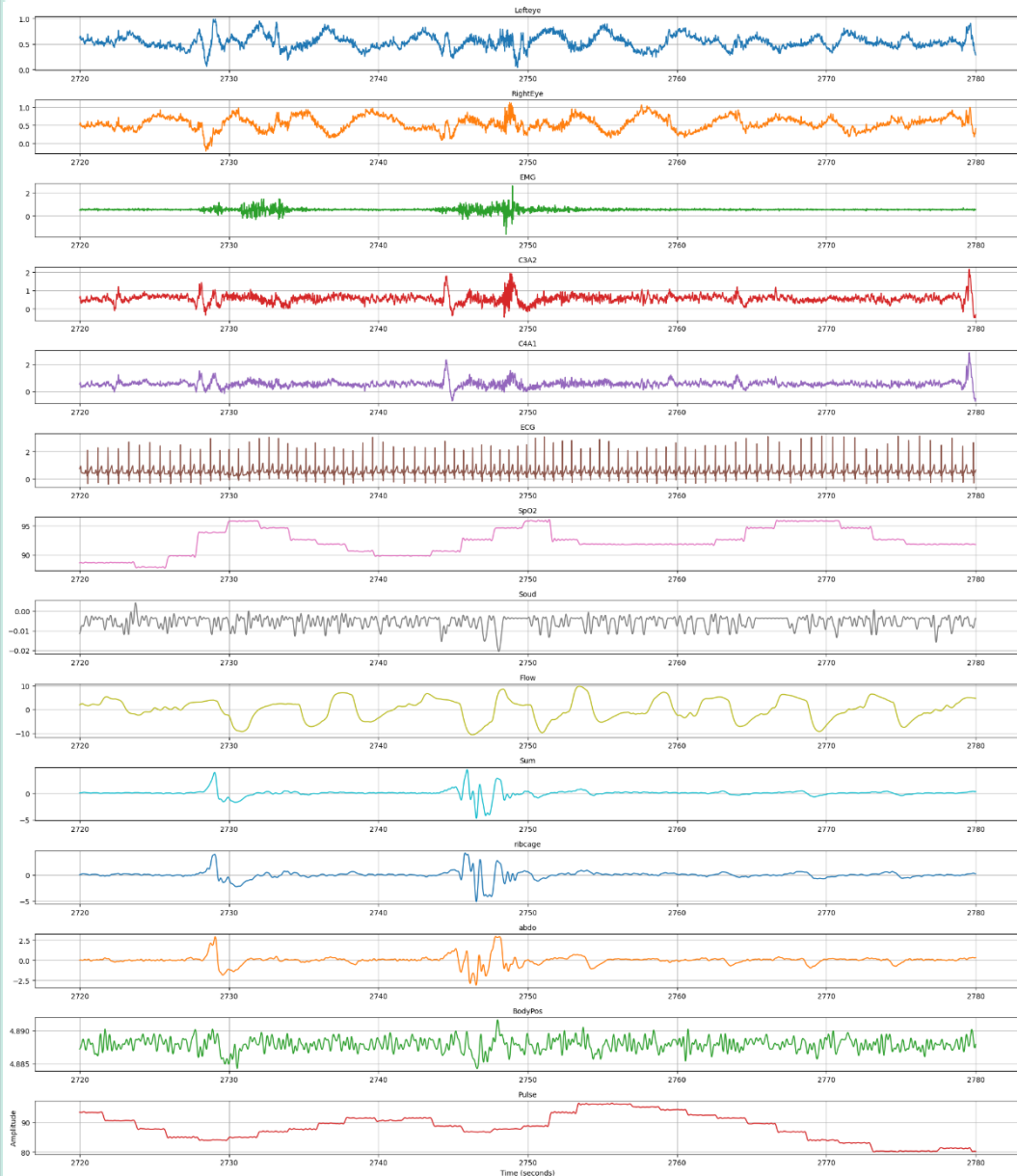
## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 16 Sinyal yang telah disesuaikan untuk segmentasi

Anotasi dalam format kemudian ditambahkan durasinya dengan mengurangi waktu *start* selama 20 detik dan menambahkan *end* selama 20 detik. Gambar 4.11 menunjukkan segmen waktu *start* dan *end* yang telah disesuaikan. Penambahan durasi 20 detik pada *start* dan *end* dilakukan untuk memastikan durasi minimal *event* sesuai dengan pedoman *scoring apnea*, yaitu 10 detik dalam segmen sinyal 30 detik. Dengan mengurangi durasi awal dimulainya *event* dan menambahkan

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

akhir *event* selama 20 detik akan menghasilkan segmen sinyal dengan durasi event  $\geq 10$  detik yang terjadi di awal maupun akhir segmen.

#### 4.3.1.2 Implementasi Prapemrosesan Data

```
def trim_edf_file(input_file, start_time, end_time, drive_folder, label):
    raw = mne.io.read_raw_edf(input_file, preload=True)
    fs = int(raw.info['sfreq'])

    upsample_target_fs = 64
    channel_names = ["Flow", "Sum", "abdo", "SpO2"]
    filtered_signals = {}
    local_trimmed_paths = []
    drive_trimmed_paths = []

    for ch in channel_names:
        if ch in raw.ch_names:
            print(f"Processing channel: {ch}")
            trimmed_raw = raw.copy().pick([ch]).crop(tmin=start_time, tmax=end_time)
            signal_data = trimmed_raw.get_data()[0]

            if ch == "SpO2" or ch == "Flow":
                signal_data = np.clip(signal_data, 0, 200)
                signal_data = (signal_data - np.min(signal_data)) / (np.max(signal_data) - np.min(signal_data)) * 100
                signal_data = np.round(signal_data).astype(np.int16)

            info = mne.create_info([ch], sfreq=fs, ch_types="misc")
            new_raw = mne.io.RawArray(signal_data.reshape(1, -1), info)

            trimmed_folder = os.path.join("trimmed", label, ch)
            os.makedirs(trimmed_folder, exist_ok=True)
            local_trimmed_file = os.path.join(trimmed_folder, f"{ch}_trimmed_{start_time}-{end_time}.edf")
            mne.export.export_raw(local_trimmed_file, new_raw, fmt="edf", overwrite=True)

            filtered_signals[ch] = signal_data
        else:
            print(f"[!] Channel {ch} not found in EDF file.")

    return filtered_signals, fs
```

Gambar 4. 17 Fungsi Trim

Tahap prapemrosesan diawali dengan memasukan durasi dari anotasi *start* dan *end* dengan label *apnea* dan normal pada fungsi *trim* seperti yang ada pada Gambar 4.12. Fungsi ini akan secara otomatis melakukan pemotongan dan pemilihan channel *Flow*, *Sum*, *abdomen*, dan *SpO2*. *Channel* yang dipilih kemudian dipotong durasinya berdasarkan input *start* dan *end* pada parameter fungsi dengan `.copy().pick((ch)).crop(tmin=start_time, tmax=end_time)`. Sinyal yang telah dipilih sesuai *channel* yang dibutuhkan kemudian di-*export* menjadi 4 sinyal yang hanya berisi masing – masing *channel*. Khusus untuk sinyal *SpO2* dan *Flow* sebelum proses *exporting*, perlu dilakukan normalisasi pada amplitudonya karena kedua saluran ini memiliki beberapa *sample* yang nilainya diatas nilai maksimum yang dapat diolah oleh *library* mne, yaitu nilai diatas 8 digit. Normalisasi dilakukan pada *syntax* kondisional dalam iterasi pengambilan *channel* yang dibutuhkan.

## Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

```
def combine_trimmed_signals(trimmed_signals, start_time, end_time, combined_drive_folder, label, fs, file_name):
    combined_signal = np.vstack([trimmed_signals[ch] for ch in trimmed_signals if trimmed_signals[ch] is not None])

    if combined_signal.shape[0] == 0:
        print("Error: No valid signals found for combination.")
        return None

    combined_local_folder = "combined_trimmed"
    os.makedirs(combined_local_folder, exist_ok=True)
    combined_file = os.path.join(combined_local_folder, f"{file_name}{label}_{start_time}-{end_time}.edf")

    ch_names = list(trimmed_signals.keys())

    info = mne.create_info(ch_names=ch_names, sfreq=fs, ch_types="misc")
    combined_raw = mne.io.RawArray(combined_signal, info)
    mne.export.export_raw(combined_file, combined_raw, fmt="edf", overwrite=True)

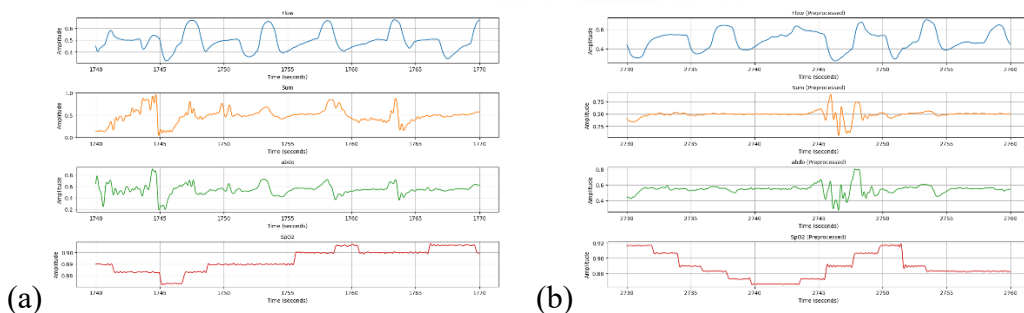
    drive_combined_folder = os.path.join(combined_drive_folder, label)
    os.makedirs(drive_combined_folder, exist_ok=True)
    drive_combined_path = os.path.join(drive_combined_folder, os.path.basename(combined_file))
    shutil.move(combined_file, drive_combined_path)

    return drive_combined_path
```

codesnap.dev

Gambar 4. 18 Fungsi penyatuan sinyal

Masing – masing sinyal yang telah di-*export* berdasarkan *channel* dan durasi segmen nya kemudian disatukan kembali menjadi sinyal baru yang berisi keempat *channel*. Proses ini dilakukan karena nilai dari SpO2 dan *Flow* melebihi batas maksimum dari *library* mne yang menyebabkan *error* saat proses *export* untuk membuat sinyal yang sudah dipotong dilakukan. Penyatuan sinyal ini dilakukan sesuai urutan *channel* pada setiap iterasinya untuk memastikan keseragaman bentuk dan urutan *channel* yang digunakan. Sinyal yang telah disatukan kemudian di-*export* ke google drive menjadi sinyal baru dengan format nama “(nomor pasien)(label)\_(start)-(end).edf” dalam folder masing – masing label (*apnea* atau *normal*) untuk memastikan tidak ada sinyal yang tertimpa jika *start* dan *end* sama. Iterasi prapemrosesan data akan dilakukan untuk setiap segmen waktu pada masing – masing file dengan *overlap* 1 detik. Penggunaan *overlap* ini dilakukan untuk memastikan tidak ada informasi penting dari sinyal yang terlewat sekaligus untuk memastikan bahwa *event apnea* terjadi dengan durasi  $\geq 10$  detik.



Gambar 4. 19 (a) segmen normal dan (b) segmen *apnea* dengan *channel* Flow, Sum, Abdomen, SpO2

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Seluruh data yang selesai disatukan di Google Drive kemudian disamakan jumlahnya dengan menghapus beberapa data dalam rentang segmen anotasi tertentu. Metode penghapusan data ini dipilih karena dalam satu segmen dapat dihasilkan lebih dari 20 data yang serupa dan dengan demikian informasi penting yang dimiliki data masih terpadat pada data lainnya. Penghapusan ini bertujuan untuk memastikan model mempelajari informasi pada sinyal *apnea* dan normal dengan jumlah yang sama atau dengan rasio 50:50. Data yang sudah disamakan jumlahnya dapat dimuat untuk dilanjutkan pada tahap prapemrosesan data selanjutnya.

```
import os
import numpy as np
import mne
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Conv1D, MaxPooling1D, Flatten, Dense, Dropout, BatchNormalization, LeakyReLU
from tensorflow.keras.callbacks import EarlyStopping
from sklearn.model_selection import train_test_split

dataset_folder = "path"

class_labels = sorted(os.listdir(dataset_folder))
signals, labels = [], []

for label_index, class_folder in enumerate(class_labels):
    class_path = os.path.join(dataset_folder, class_folder)
    edf_files = [os.path.join(class_path, file) for file in os.listdir(class_path) if file.endswith('.edf')]

    for edf_path in edf_files:
        raw = mne.io.read_raw_edf(edf_path, preload=True)
        signal_data = raw.get_data()
        signal_data = np.nan_to_num(signal_data, nan=0.0, posinf=1.0, neginf=-1.0)
        min_val = np.min(signal_data, axis=1, keepdims=True)
        max_val = np.max(signal_data, axis=1, keepdims=True)
        signal_data = (signal_data - min_val) / (max_val - min_val + 1e-8)
        signals.append(signal_data.T)
        labels.append(label_index)

signals = np.array(signals, dtype=np.float32)
labels = np.array(labels, dtype=np.int32)

X_train, X_temp, y_train, y_temp = train_test_split(signals, labels, test_size=0.3, random_state=42, stratify=labels)
X_test, X_val, y_test, y_val = train_test_split(X_temp, y_temp, test_size=1/3, random_state=42, stratify=y_temp)

input_shape = X_train.shape[1:]
num_classes = len(set(y_train))
```

Gambar 4. 20 Fungsi untuk memuat dan normalisasi data

Gambar 4.20 menunjukkan fungsi untuk memuat seluruh data sinyal yang telah dipilah *channel* nya dan dilakukan segmentasi. Fungsi ini menerapkan metode *loop* atau iterasi untuk memuat data .edf yang terdapat pada folder *path* Google Drive. Namun, setelah sinyal diekspor dan disimpan dalam format .edf, kemudian dimuat kembali menggunakan fungsi `read_raw_edf`, bentuk array menjadi  $4 \times 248$ . Hal ini disebabkan oleh penyesuaian internal saat proses penyimpanan dan pembacaan file EDF, seperti *padding* blok data, pembulatan durasi, atau penyesuaian *frame* agar



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

sesuai dengan standar format EDF. Proses ini menyebabkan jumlah titik waktu bertambah meskipun durasi yang dimaksud tetap sekitar 30 detik.

*File .edf* yang sudah dimuat kemudian dinormalisasi dengan mengubah sinyal dengan nilai *NaN* atau tanpa nilai dengan 0 dan nilai positif tak terhingga dengan 1. Normalisasi dilanjutkan dengan mengubah seluruh amplitudon sinyal ke dalam rentang 0-1. Normalisasi atau penyeragaman nilai amplitudo ini dilakukan untuk memudahkan model untuk mempelajari pola sinyal sehingga model dapat lebih fokus dalam mengenali pola temporal dan spasial dari masing – masing *channel*, bukan perbedaan skala antar sinyal *channel*.

*Deep learning* menginginkan bentuk sinyal masukan atau *input (time\_steps, feature)* atau dalam konteks ekstraksi sinyal (*time\_steps, channel*), sedangkan bentuk sinyal dari hasil pemuatan dan normalisasi adalah (*channel, time\_steps*). Perbedaan ini mengharuskan data untuk diubah bentuknya (*transpose*). Pada Gambar 4.18 terdapat *syntax data.T*, yaitu *syntax* untuk mengubah bentuk data yang pada kasus kali ini berarti mengubah dari bentuk (*channel, time\_steps*) menjadi (*time\_steps, channel*). Bentuk dari data yang telah melalui prapemrosesan data adalah = (248, 4) di mana 248 merupakan jumlah langkah waktu (*time steps*) dan 4 adalah jumlah *channel* sinyal yang dimiliki.

Data yang sudah melalui diubah bentuknya kemudian diekstraksi fiturnya menggunakan FFT. FFT digunakan untuk mengekstraksi informasi spektral dari sinyal. Berdasarkan sinyal yang digunakan, bentuk awal setiap segmen adalah (4, 248), yang berarti terdiri dari 4 *channel* dan 248 titik waktu. Sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya, perubahan bentuk diperlukan untuk menunjang kebutuhan *deep learning* menjadi (248, 4).

Pada tahap ini, setiap segmen data disimpan secara terpisah, tidak lagi digabung dalam satu *array* besar. Pendekatan ini dilakukan untuk mempermudah pengolahan dataset ke depannya, terutama dalam pelabelan dan validasi data. Perbandingan bentuk data hasil ekstraksi fitur FFT dan sinyal mentah dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4. 9 Perbandingan bentuk data FFT dan sinyal mentah

| No | Fitur | Bentuk |
|----|-------|--------|
|----|-------|--------|

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|   |     |          |
|---|-----|----------|
| 1 | FFT | (4, 248) |
| 2 | Raw | (4, 248) |

Setelah melalui proses ekstraksi fitur, maka *dataset* siap dilatih menggunakan model *deep learning*. Kedua kelas data yang sudah diproses tersebut akan disimpan pada dua folder berbeda. Pemisahan data ini bertujuan untuk mempermudah proses memuat data pada saat pelatihan model dilakukan.

#### 4.3.1.3 Implementasi Pembagian Dataset

Terdapat dua skenario pembagian dataset yang telah dijelaskan pada tahap perencanaan. Setelah segmen-segmen data disimpan dalam dua folder terpisah dan jumlah data pada kedua kelas disamakan, kedua kelas data tersebut akan dibagi berdasarkan skenario menggunakan potongan kode pada Gambar 4.21.

```
from sklearn.model_selection import train_test_split

X_train, X_temp, y_train, y_temp = train_test_split(signals, labels, test_size=0.3, random_state=42, stratify=labels)
X_test, X_val, y_test, y_val = train_test_split(X_temp, y_temp, test_size=1/3, random_state=42, stratify=y_temp)
```

Gambar 4. 21 Pembagian *dataset*

Pembagian dataset memanfaatkan *library scikit-learn* dengan fungsi `train_test_split`. Pada Gambar 4.21, data tersebut dibagi menjadi 70% data latih, 20% data validasi, dan 10% data uji. Jika ingin membagi data menjadi 80% data latih, 10% data validasi, dan 10% data uji, masih bisa menggunakan fungsi yang sama. Pada `X_temp` dan `y_temp`, `test_size` diubah menjadi 0.8, lalu `test_size` pada `X_test` dan `y_test` diubah menjadi 1/2. Bentuk masukan dari *deep learning* adalah (*batch\_size*, *time\_steps*, *feature*) dimana bentuk sinyal yang digunakan akan otomatis berubah ke (3892, 248, 4) untuk skenario 1 dan (4448, 248, 4) untuk skenario 2 sesuai yang tertera pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Jumlah data

| Nama       | Skenario 1        | Skenario 2        |
|------------|-------------------|-------------------|
| Data latih | 3892 sampel (70%) | 4448 sampel (80%) |

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|               |                   |                  |
|---------------|-------------------|------------------|
| Data validasi | 1112 sampel (20%) | 556 sampel (10%) |
| Data tes      | 556 sampel (10%)  | 556 sampel (10%) |

Data latih nantinya akan digunakan untuk pelatihan model deep learning, data validasi akan bertindak sebagai *fine-tuning* pada model *deep learning*. Terakhir, data uji akan menguji model *deep learning* yang sudah dilatih, apakah model tersebut dapat mengklasifikasi data baru atau tidak.

```
def convert_csv_to_edf_selected_channels(file_path, sfreq=64, output_path="selected_channels.edf"):
    try:
        df = pd.read_csv(file_path)
        # missing = [ch for ch in channel_names if ch not in df.columns]
        missing = [ch for ch in fixed_channel_names if ch not in df.columns]
        if missing:
            return None, f"Missing channels in CSV: {missing}"
        data = df[fixed_channel_names].to_numpy().T
        info = mne.create_info(ch_names=fixed_channel_names, sfreq=sfreq, ch_types='misc')
        raw = mne.io.RawArray(data, info)
        mne.export.export_raw(output_path, raw, fmt="edf", overwrite=True)

        return output_path, None
    except Exception as e:
        return None, f"Conversion failed: {e}"
```

oodeenap.dev

Gambar 4. 22 Fungsi Konversi CSV ke EDF

Khusus untuk file dengan format .csv diperlukan tahap awal tambahan. Tahap awal ini berupa proses konversi dari file .csv ke .edf. Proses konversi dilakukan dengan pengecekan *channel* yang diperlukan. Jika di dalam dokumen .csv tidak terdapat *channel* yang dibutuhkan oleh model, maka proses konversi dihentikan. Dokumen .csv yang memiliki *channel Flow, Sum, Abdomen*, dan *Spo2* kemudian diubah bentuknya ke (*channel, time\_steps*) untuk menyesuaikan format dari *library* MNE.

Data yang telah diubah bentuknya kemudian di-*export* menjadi file .edf dengan *library* MNE untuk selanjutnya dilakukan preprocessing yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Fungsi handling file .csv ini hanya digunakan untuk kebutuhan *testing* pada model yang sudah berada di tahap *deployment* dan tidak dilakukan pada fase *training* untuk menjaga konsistensi data latih model.

#### 4.3.1.5 Implementasi Model Deep Learning

Implementasi dua jenis model, yaitu 1D CNN dan LSTM, akan dilakukan pada dua jenis data, sinyal mentah dan data yang sudah melalui data prapemrosesan dan

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

ekstraksi fitur. Seluruh hasil implementasi akan dibandingkan menggunakan metrik evaluasinya.

#### 4.3.1.5.1 Sinyal Mentah

Pada data sinyal yang telah diproses, setiap segmen memiliki panjang 248 titik waktu dan terdiri dari 4 *channel*. Menyesuaikan dengan skenario pembagian data, *input shape* dari skenario 1 adalah (3892, 248, 4), yang berarti terdapat 3892 segmen, masing-masing berdimensi 248 titik waktu  $\times$  4 *channel*. Skenario 2 memiliki *input shape* (4448, 248, 4) yang berarti terdapat 4448 segmen, masing-masing berdimensi 248 titik waktu  $\times$  4 *channel*.

#### A. 1D CNN

Tahap pertama adalah membandingkan metrik evaluasi sinyal mentah menggunakan pembagian dataset skenario 1 dan 2. Tabel 4.11 merupakan hasil perbandingan metrik evaluasi skenario 1 dan 2.

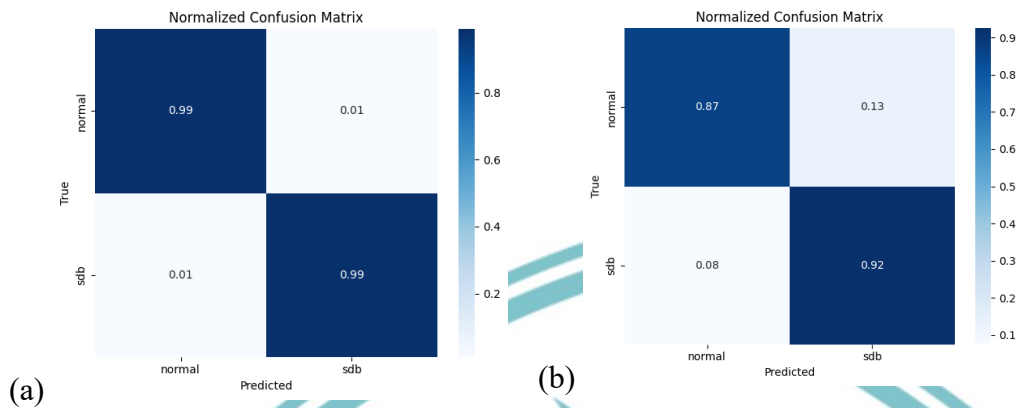
Tabel 4. 11 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 1D CNN sinyal mentah

| Skenario | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score | Epochs |
|----------|---------|---------|--------|----------|--------|
| 1        | 0.987   | 0.989   | 0.985  | 0.987    | 23     |
| 2        | 0.895   | 0.874   | 0.924  | 0.898    | 9      |

Pada Tabel 4.11, model 1D CNN dengan skenario 1 memiliki nilai metrik yang lebih tinggi pada semua aspeknya. Selanjutnya, dibandingkan antara *confusion matrix* dari kedua skenario. Pada Gambar 4.23 dimana 4.23 (a) adalah skenario 1 dan 4.23 (b) adalah skenario 2.

## Hak Cipta :

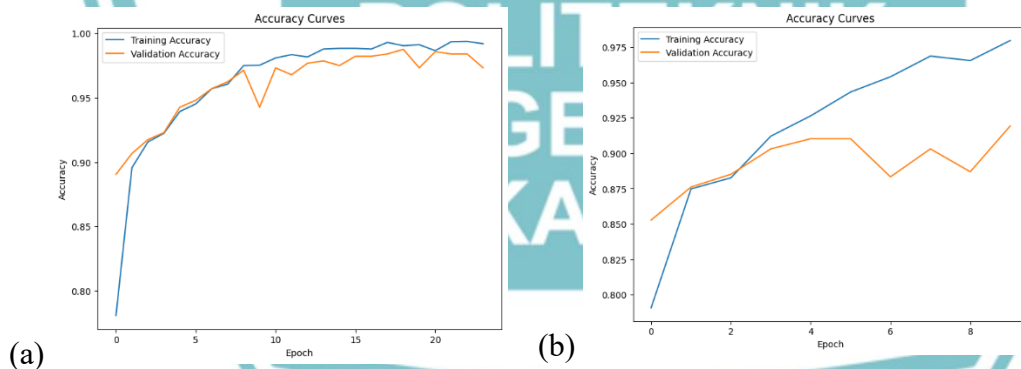
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 23 Perbandingan *confusion matrix* skenario 1 (a) dan skenario 2 (b) 1D CNN sinyal mentah

Selain metrik evaluasi, grafik akurasi dan *loss* juga akan dibandingkan. Tujuannya adalah untuk melihat bagaimana performa model berkembang selama proses pelatihan pada masing - masing skenario pembagian dataset. Dengan membandingkan grafik tersebut, penulis akan mengetahui kestabilan proses pelatihan, potensi *overfitting*, serta efisiensi pembelajaran model.

Gambar 4.24 (a) dan (b) merupakan perbandingan grafik akurasi pada kedua skenario pembagian dataset dengan sinyal mentah menggunakan arsitektur 1D CNN.

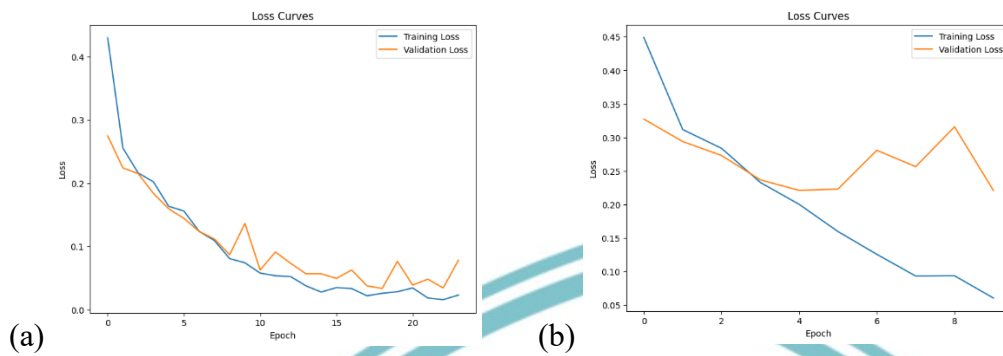


Gambar 4. 24 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN sinyal mentah

Terdapat perbedaan antara kedua grafik akurasi. Grafik akurasi skenario 1 memiliki *epoch* yang lebih banyak dan stabil dibandingkan skenario 2. Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan Grafik *loss* dari skenario 1 dan 2. Grafik skenario kedua mengalami penurunan akurasi validasi, ini menandakan terjadinya *overfitting* pada *epoch* ke-5 pelatihan model.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 25 Perbandingan grafik *loss* skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN sinyal mentah

Skenario 2 berhenti pada *epoch* ke-9 secara otomatis karena *validation loss* pada saat pelatihan tidak berkurang dalam 5 *epochs*. Penghentian ini dilakukan untuk mencegah *overfitting*, yaitu saat model mulai menghafal data *training* dan kehilangan kemampuan generalisasi. Skenario kedua menunjukkan tanda – tanda *overfitting* dimana grafik validasi akurasi mengalami penurunan disaat akurasi *training* meningkat. Hasil serupa juga terjadi pada grafik *loss* dimana *loss* pelatihan terus menurun tetapi *loss* validasi meningkat. *Overfitting* terjadi pada *epoch* ke-5, namun dengan *patience*=5 dari fungsi callback dan performa model yang tidak membaik, pelatihan dihentikan pada *epoch* ke-9. Penghentian pelatihan pada *epoch* ke-9 kurang efektif karena model telah mengalami *overfitting* sejak *epoch* ke-5.

### B. LSTM

Pelatihan model LSTM dimulai setelah pelatihan 1D CNN selesai. Pelatihan model LSTM ini masih menggunakan data mentah yang telah dinormalisasi dan tanpa ekstraksi fitur menggunakan FFT. Model LSTM dilatih melalui skenario yang sama dengan model 1D CNN. Tabel 4.12 membandingkan metrik hasil pelatihan model LSTM dengan skenario 1 dan 2.

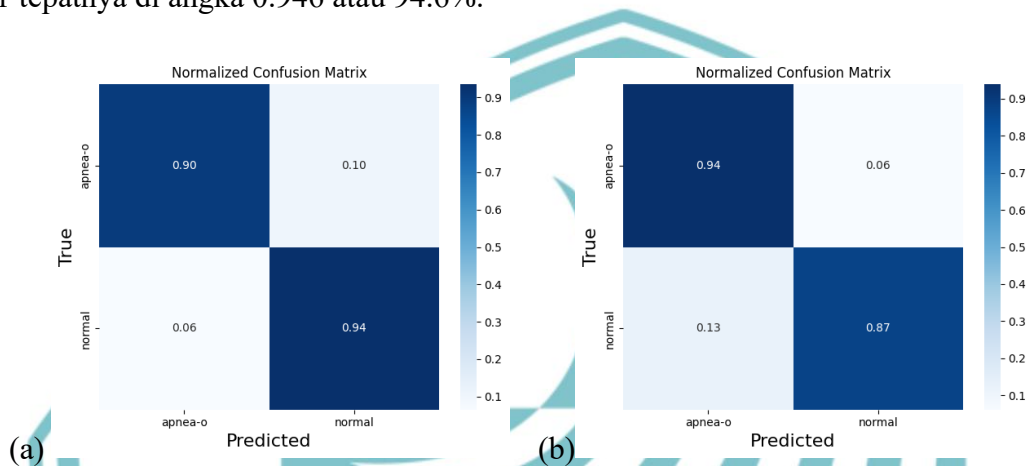
Tabel 4. 12 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 LSTM sinyal mentah

| Skenario | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score | Epochs |
|----------|---------|---------|--------|----------|--------|
| 1        | 0.911   | 0.910   | 0.92   | 0.92     | 23     |
| 2        | 0.885   | 0.946   | 0.817  | 0.876    | 14     |

### Hak Cipta :

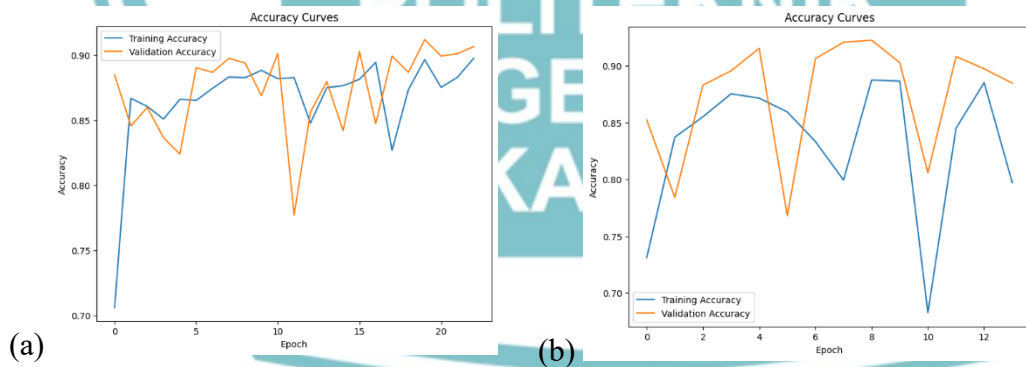
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Dari Tabel 4.12, dapat dilihat bahwa pelatihan model LSTM dengan skenario 1 menghasilkan metrik yang lebih baik dibandingkan model LSTM dengan metrik dari skenario 2. Skenario 1 memiliki nilai metrik yang lebih tinggi hampir diseluruh metrik kecuali presisi. Skenario 2 mendapat nilai presisi lebih tinggi dari skenario 1 tepatnya di angka 0.946 atau 94.6%.



Gambar 4. 26 Perbandingan *confusion matrix* skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah

Perbandingan *confusion matrix* dapat dilihat pada Gambar 4.26. Gambar 4.26 (a) merupakan *confusion matrix* dari skenario 1 model LSTM dan Gambar 4.26 (b) merupakan *confusion matrix* dari skenario 2 model LSTM dimana jumlah data latih lebih banyak 556 data dibandingkan skenario 1.

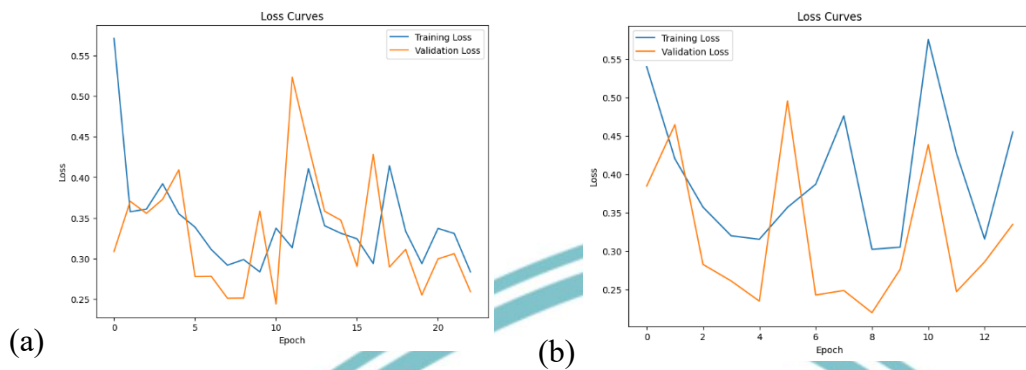


Gambar 4. 27 Perbandingan grafik kurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah

Gambar 4.27 merupakan perbandingan grafik akurasi kedua skenario. Hasil pelatihan kedua skenario memiliki grafik dengan banyak *spike* atau lonjakan. *Spike* ini menunjukkan bahwa proses pelatihan mengalami *overfitting* dan *underfitting*. *Spike* ini terjadi ketika model masih dalam tahap belajar dan terlalu mencoba menyesuaikan bobot secara optimal terhadap pola data.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 28 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM sinyal mentah

Gambar 4.28 menunjukkan perbandingan grafik *loss* dari kedua skenario. Selaras dengan grafik akurasi, dalam kedua grafik *loss* terdapat *spike* yang merefleksikan ketidakstabilan selama proses pelatihan model. Spike tersebut menunjukkan bahwa model mengalami model masih belum stabil dan mengalami *overfitting* pada beberapa *epoch*. Pola ini sejalan dengan grafik akurasi yang juga tidak stabil, terjadi penurunan performa pada *epoch* awal menandakan adanya *underfitting* pada *epoch* awal dan *spike* yang menandakan *overfitting*.

#### 4.3.1.5.2 Sinyal Dengan Ekstraksi Fitur FFT

Data sinyal yang telah dilakukan ekstraksi fitur menggunakan FFT memiliki titik poin yang sama dengan sinyal mentah, yaitu (4, 248). Data ini akan digunakan untuk melatih model 1D CNN dan LSTM dengan arsitektur dan skenario yang sama dengan data sinyal mentah. Metrik dari hasil pelatihan juga akan dibandingkan untuk masing – masing skenarionya.

##### A. 1D CNN

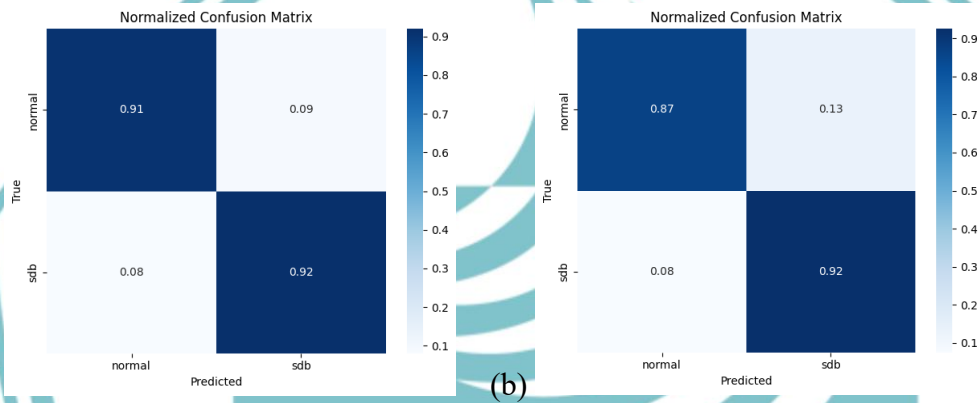
Tahap pertama adalah membandingkan metrik evaluasi sinyal FFT menggunakan pembagian dataset skenario 1 dan 2. Tabel 4.13 merupakan hasil perbandingan metrik evaluasi skenario 1 dan 2.

Tabel 4. 13 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 1D CNN FFT

| Skenario | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score | Epochs |
|----------|---------|---------|--------|----------|--------|
| 1        | 0.913   | 0.909   | 0.919  | 0.914    | 10     |

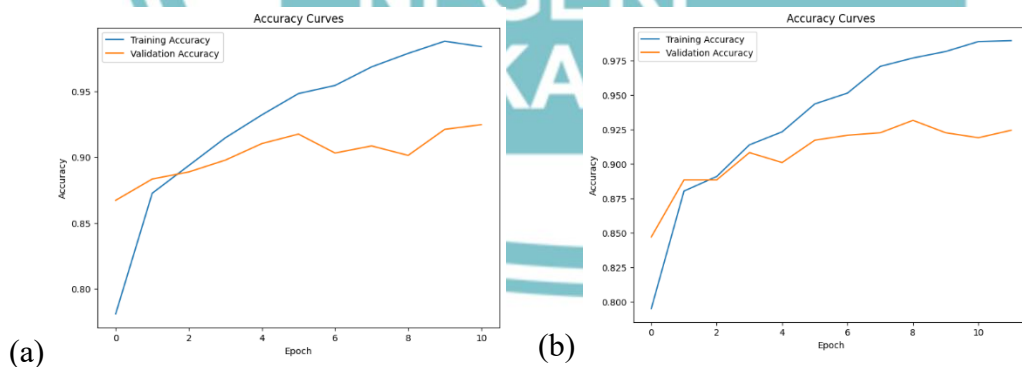
|   |       |       |       |       |    |
|---|-------|-------|-------|-------|----|
| 2 | 0.895 | 0.874 | 0.924 | 0.898 | 12 |
|---|-------|-------|-------|-------|----|

Skenario 1 mendapat nilai metrik yang lebih tinggi dibandingkan metrik skenario 2 kecuali pada metrik *recall*. Metrik *recall* yang lebih tinggi pada skenario 2 menunjukkan bahwa model dalam skenario 2 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengenali semua kasus positif. Model dengan skenario 2 dapat dikatakan lebih sensitif meskipun performa keseluruhannya tidak sebaik skenario 1 berdasarkan metrik lain seperti akurasi, presisi, dan F1 score.



Gambar 4. 29 Perbandingan *confusion matrix* skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT

Kemudian *confusion matrix* dari kedua skenario dibandingkan pada Gambar 4.29. Skenario 1 ditunjukkan pada Gambar 4.29 (a) dan skenario 2 ditunjukkan pada Gambar 4.29 (b).



Gambar 4. 30 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT

Gambar 4.30 memperlihatkan perbandingan grafik akurasi antara kedua skenario. Meskipun bentuk grafiknya serupa, skenario kedua memiliki satu epoch lebih panjang dibandingkan skenario pertama. Kedua pelatihan terhenti lebih awal akibat

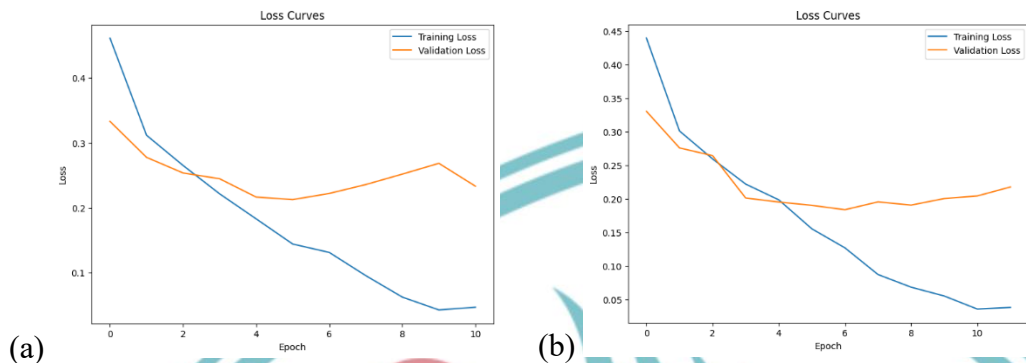
**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

mekanisme regulasi, yang mengindikasikan bahwa proses pelatihan berpotensi mengalami peningkatan performa lebih lanjut, meskipun secara terbatas.



Gambar 4. 31 Perbandingan grafik *loss* skenario 1 (a) dan 2 (b) 1D CNN FFT

Gambar 4.31 memperlihatkan perbandingan grafik *loss* antara kedua skenario pelatihan model. Selaras dengan grafik akurasi, kedua skenario memiliki grafik yang serupa. Grafik validasi pada kedua skenario mengalami penurunan performa yang menjadi tanda model mengalami *overfitting* yang signifikan pada *epoch* ke-3.

### B. LSTM

Implementasi model LSTM dengan sinyal yang telah diekstraksi fitur menggunakan FFT akan dilakukan serupa dengan model 1D CNN. Tabel 4.14 memperlihatkan perbandingan metrik dari kedua skenario pelatihan.

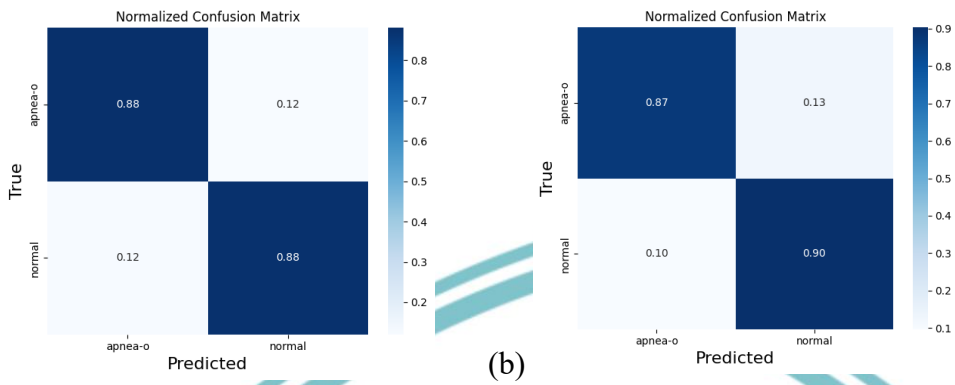
Tabel 4. 14 Perbandingan metrik skenario 1 dan 2 LSTM FFT

| Skenario | Akurasi | Presisi | Recall | F1-Score | Epochs |
|----------|---------|---------|--------|----------|--------|
| 1        | 0.888   | 0.877   | 0.902  | 0.890    | 27     |
| 2        | 0.895   | 0.877   | 0.921  | 0.898    | 29     |

Tabel 4.14 menunjukkan perbandingan metrik kedua skenario. Skenario kedua menunjukkan performa yang lebih baik secara keseluruhan, khususnya dalam *recall* dan *F1-score*. Kedua skenario pelatihan memiliki hasil yang serupa tanpa ada perbedaan nilai yang signifikan.

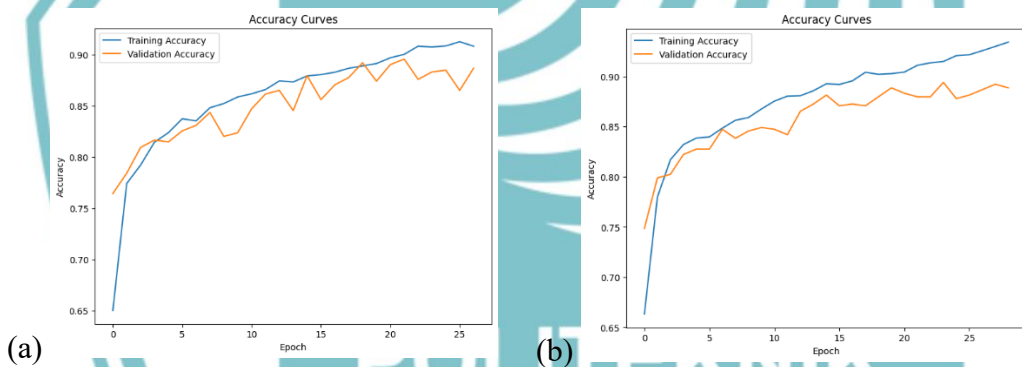
### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 32 Perbandingan *confusion matrix* skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT

Gambar 4.32 memperlihatkan perbandingan kedua skenario. Skenario 1 ditunjukkan oleh gambar 4.32 (a), sementara skenario 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.32 (b).

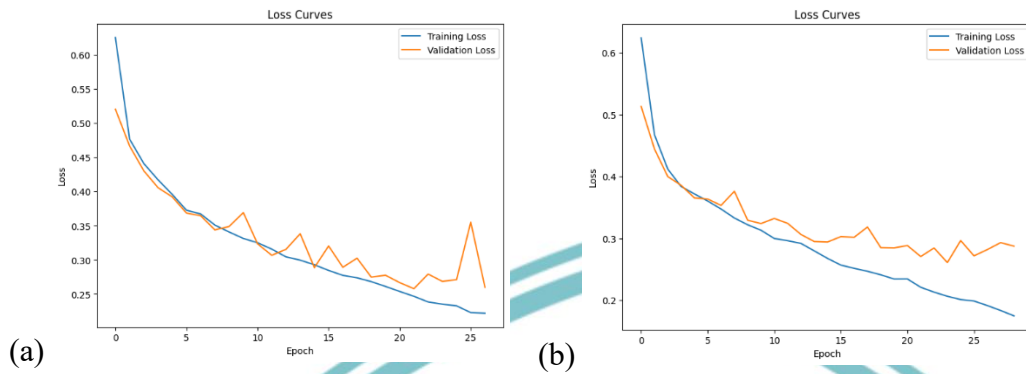


Gambar 4. 33 Perbandingan grafik akurasi skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT

Gambar 4.33 menunjukkan perbedaan grafik akurasi kedua skenario. Kedua skenario memiliki grafik yang serupa dengan perbedaan paling besar adalah pada jumlah *epoch* yang dicapai. Skenario 2 mampu mencapai *epoch* ke-29 walaupun terhenti pada *epoch* ini juga. Kestabilan grafik di akhir pelatihan juga mengindikasikan bahwa model telah mencapai titik konvergensi meskipun masih menyisakan potensi perbaikan performa.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4. 34 Perbandingan grafik loss skenario 1 (a) dan 2 (b) LSTM FFT

Gambar 4.34 memperlihatkan perbedaan grafik *loss* antara skenario 1 dan 2. Grafik skenario 1 memiliki *spike* yang cukup signifikan pada akhir *epoch*. *Spike* ini menjadi indikasi adanya *overfitting* diakhir *epoch*, di mana model terlalu menyesuaikan diri terhadap data pelatihan.

#### 4.3.1.6 Implementasi API

Tahap implementasi API dimulai dengan membuat API *contract* yang berisi desain metode API yang digunakan meliputi *endpoint*, *payload*, *method*, dan *response*. Pada Tabel 4.x terdapat “POST” yang merupakan metode yang digunakan untuk mengirim data pada API. “/detect/apnea\_edf” dan “/detect/apnea\_csv” merupakan *endpoint* atau titik akhir yang dituju pada domain untuk melakukan deteksi menggunakan model yang telah dilatih. Pembuatan 2 *endpoint* yang berbeda untuk 2 jenis *file* (.edf dan .csv) dilakukan untuk memudahkan proses pembuatan, *debugging*, dan perawatan API.

Tabel 4. 15 API documentation

| Endpoint                          |
|-----------------------------------|
| [POST] /detect/apnea_edf          |
| [POST] /detect/apnea_csv          |
| HTTP                              |
| Content-Type: multipart/form-data |
| Authorization: Bearer <token>     |

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

| <i>Key</i> | <i>Type</i> | <i>Required</i> | <i>Description</i>         |
|------------|-------------|-----------------|----------------------------|
| File       | EDF/CSV     | Yes             | File sinyal rekaman pasien |
| modelType  | String      | Yes             | CNN atau LSTM              |

Untuk menggunakan kedua *endpoint*, diperlukan *file* .csv atau .edf dari rekaman sinyal pasien sebagai masukan atau input *file*. Perbedaan diantara kedua *endpoint* ini hanya pada *input file*. *Endpoint* edf memerlukan *file* .edf dan *endpoint* csv memerlukan *file* .csv sebagai *input file*.



```

{
  "code":int,
  "message":string,
  "result":{
    "apnea_count":int,
    "lowest_spo2":float,
    "lowest_spo2_visual":string
  }
}

```

Gambar 4. 35 Response API

Gambar 4.35 adalah respons yang akan dikembalikan kepada pengguna setelah berhasil melakukan deteksi *apnea*. *Apnea\_count* adalah jumlah segmen pada sinyal pasien yang terindikasi *apnea* dengan format angka atau *integer*. *Lowest\_spo2* adalah nilai SpO2 terendah pada segmen sinyal yang terindikasi *apnea* dalam 120 menit. *Lowest\_spo2\_visual* adalah visualisasi dari segmen dengan tingkat saturasi oksigen terendah yang terindikasi *apnea*.

Nilai *lowest\_spo2* didapatkan dari nilai dari titik waktu yang ada dalam segmen terindikasi *apnea*. Nilai ini akan dibandingkan dengan nilai pada segmen *apnea* lainnya dan nilai akan disimpan sebagai *lowest\_spo2* serta *start\_time* akan disimpan untuk divisualisasikan. Visualisasi diambil dari segmen dengan saturasi oksigen terendah dan visualisasi akan disimpan sebagai citra menggunakan pustaka *matplotlib.pyplot* dengan format .jpg. Citra yang telah disimpan kemudian diubah bentuknya menjadi *base64* sebelum dikembalikan pada pengguna untuk mempermudah proses pengiriman data.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## 4.4 Pengujian

Pengujian merupakan tahap akhir dalam proses pengembangan sistem yang bertujuan untuk mengevaluasi apakah sistem telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan untuk mengidentifikasi kesalahan, mengevaluasi performa, serta memastikan bahwa sistem dapat berjalan dengan baik. Terdapat dua aspek penting dalam pengujian ini, yaitu pengujian model dan pengujian aplikasi web.

### 4.4.1 Deskripsi Pengujian

Deskripsi pengujian merupakan penjelasan dari metode yang digunakan dalam pengujian. Pengujian model dan pengujian API memiliki deskripsi secara terpisah.

#### 4.4.1.1 Deskripsi Pengujian Model

Model dalam penelitian ini dilatih dengan ukuran segmen 30 detik. Namun, dalam praktik medis, pemantauan *apnea* dilakukan dalam waktu minimal 90-120 menit dalam satu rekaman pasien. Oleh karena itu, pada tahap pengujian model, penulis melakukan evaluasi terhadap kemampuan model dalam mendeteksi event *apnea* pada sinyal pernapasan selama 120 menit.

#### 4.4.1.2 Deskripsi Pengujian *Black Box*

Black box testing adalah teknik pengujian perangkat lunak yang digunakan untuk menentukan fungsionalitas suatu aplikasi. Fokus utama dari pengujian ini adalah pada input yang tersedia untuk aplikasi dan output yang diharapkan untuk setiap nilai input. Nama "*black box*" digunakan karena dalam pengujian ini, penguji tidak perlu mengetahui implementasi kode internal dari aplikasi. Pengujian ini menangani baik input yang valid maupun tidak valid sesuai dengan kebutuhan pengguna. Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan pengujian *black box* secara mandiri.

#### 4.4.1.3 Deskripsi *User Acceptance Test* (UAT)

UAT dilakukan oleh klien atau pengguna akhir. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan kebutuhan yang



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

telah disepakati serta untuk menilai manfaatnya bagi pengguna sebelum diterapkan dalam lingkungan operasional (Gordon, S et al., 2022 & Yakub, H et al., 2024). Maka dari itu, UAT akan dilakukan oleh tenaga medis dari IMERI UI.

#### 4.4.2 Prosedur Pengujian

##### 4.4.2.1 Prosedur Pengujian Model

Penulis akan memilih sinyal rekaman milik pasien yang terindikasi *apnea*. Sinyal – sinyal milik pasien akan diuji dengan model 1D CNN dan LSTM dari skenario 1. Skenario 1 dipilih karena metrik hasil dari pelatihan model menunjukkan nilai yang lebih tinggi hampir di pada semua model kecuali LSTM dengan sinyal FFT. Meskipun model LSTM dengan skenario 1 pada sinyal hasil ekstraksi menggunakan FFT nilai metriknya lebih rendah, perbedaannya tidak signifikan. Oleh karena itu, skenario 1 tetap dipertimbangkan sebagai konfigurasi utama

Seluruh data yang digunakan pada pengujian merupakan raw data signal yang sudah melalui prapemrosesan data dan ekstraksi fitur. Pengujian model juga dilakukan dengan data publik dari Physionet yang memiliki *channel* alternatif selain untuk menggantikan *channel flow*, dan *sum* untuk menguji performa model secara lebih lanjut. Tabel 4.X menunjukkan hasil pengujian model.

Tabel 4. 16 Format pengujian model

| Subjek   | Ukuran File | Jumlah Apnea | Durasi Deteksi (Detik) |
|----------|-------------|--------------|------------------------|
| 1D CNN   |             |              |                        |
| ucddb021 | 34 MB       | -            | -                      |
| ucddb027 | 33 MB       | -            | -                      |
| ucddb028 | 27 MB       | -            | -                      |
| sdb3     | 315 MB      | -            | -                      |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.16 merupakan format untuk pengujian model. Format ini diisi dengan nama model yang digunakan, jumlah segmen yang terindikasi *apnea*, dan durasi yang dibutuhkan untuk mendeteksi sinyal. Subjek *ucddb* merupakan subjek anonim dari St. Vincent's University Hospital pada *database* Physionet, sumber yang sama dengan data yang digunakan untuk melatih model. Sementara itu, subjek *sdb3* merupakan satu – satunya subjek yang dari sumber yang berbeda. Rekaman subjek *sdb3* digunakan karena memiliki *channel thermistor* sebagai pengganti *flow* dan *thorax* sebagai pengganti *sum*.

#### 4.4.2.2 Presedur Pengujian *Black Box*

Prosedur pengujian adalah langkah–langkah untuk pengujian aplikasi yang dilakukan di lingkungan pengembangan. Pengujian *black box* dilakukan berdasarkan aspek kesesuaian jalannya fungsi dengan alur bisnis yang diinginkan pengguna. Fokus dari pengujian ini adalah menguji *endpoint* model yang terdapat pada API. Pengujian ini hanya dilakukan oleh penulis menggunakan aplikasi Postman.

Tabel 4. 17 Format pengujian *black box*

| Test ID | <i>Endpoint</i>   | <i>Input</i>                       | <i>Output yang diharapkan</i>                                           |
|---------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| TC01    | /detect/apnea_csv | Valid CSV +<br>modelType = CNN     | 200 OK, JSON dengan<br>apnea_count,<br>lowest_spo2, dan base64<br>image |
| TC02    | /detect/apnea_csv | Valid CSV +<br>ModelType =<br>LSTM |                                                                         |
| TC03    | /detect/apnea_edf | Valid EDF +<br>modelType = CNN     |                                                                         |
| TC04    | /detect/apnea_edf | Valid EDF +<br>ModelType =<br>LSTM |                                                                         |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|      |                                        |                                                   |                                                                 |
|------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| TC05 |                                        | <i>Missing file</i>                               | 400 Bad Request, JSON error: " <i>No file part in request</i> " |
| TC06 |                                        | <i>Missing modelType</i>                          | 400 Bad Request, JSON error: " <i>Model cannot be empty</i> "   |
| TC07 | /detect/apnea_edf<br>/detect/apnea_csv | <i>File yang tidak didukung. (contoh: .txt)</i>   | 400 Bad Request, JSON error: " <i>File Not Supported</i> "      |
| TC08 |                                        | <i>Valid EDF file tanpa terindikasi apnea</i>     | 200 OK, apnea_count = 0, SpO2 visual                            |
| TC09 |                                        | <i>Valid EDF file, tapi durasi &lt; 120 menit</i> | 400 Bad Request, JSON error " <i>duration is too short</i> "    |
| TC10 |                                        | <i>Error dari server saat melakukan deteksi.</i>  | 500 <i>Internal Server Error</i> , JSON error message           |

#### 4.4.2.3 Prosedur *User Acceptance Test* (UAT)

*User Acceptance Test* dilakukan oleh dokter spesialis neurologi dari IMERI UI guna memastikan bahwa model deteksi *apnea* tidur yang dikembangkan telah sesuai dengan pedoman klinis yang berlaku. Pengujian ini bertujuan untuk menilai apakah model mampu mengidentifikasi kejadian *apnea* secara akurat berdasarkan data sinyal fisiologis pasien. UAT ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian terhadap aplikasi web dan terhadap model deteksi *apnea* itu sendiri. Namun, dalam penelitian ini hanya bagian model yang dibahas dan dianalisis lebih lanjut.



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Sementara itu, aspek pengujian aplikasi web akan dijelaskan secara terpisah dalam penelitian lain yang berada di bawah judul besar yang sama. UAT dilakukan secara langsung pada aplikasi web.

Tabel 4. 18 Format UAT

| No                                                        | Pertanyaan Evaluasi                                                          | Opsi jawaban                                       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1                                                         | Apakah Anda berhasil mendeteksi <i>obstructive sleep apnea</i> ?             | Ya / Tidak                                         |
| 2                                                         | Apakah hasil deteksi sesuai dengan kriteria <i>obstructive sleep apnea</i> ? | Ya / Tidak                                         |
| 3                                                         | Apakah output deteksi mudah dipahami?                                        | 1 / 2 / 3 / 4 / 5<br>(1 = sulit, 5 = sangat mudah) |
| 4                                                         | Apakah data yang digunakan untuk melatih AI valid?                           | Ya / Tidak                                         |
| Saran dan Kritik untuk pengembangan model/AI lebih lanjut |                                                                              |                                                    |
|                                                           |                                                                              |                                                    |

#### 4.4.3 Hasil Pengujian

Data hasil pengujian merupakan hasil dari proses pengujian yang dilakukan terhadap model dan aplikasi web yang akan dikembangkan. Data ini berperan penting sebagai dasar dalam menilai performa sistem secara keseluruhan, baik dari sisi akurasi model klasifikasi maupun dari sisi fungsionalitas API.

##### 4.4.3.1 Hasil Pengujian Model

Pengujian model dilakukan secara mandiri dengan membandingkan hasil uji model CNN dan LSTM. Pengujian juga dilakukan pada data sinyal pernapasan dari CAP Database Physionet untuk memperoleh gambaran performa model dalam



mendeteksi sleep apnea secara nyata pada beragam karakteristik data. Seluruh sinyal yang diuji coba merupakan sinyal yang bersih atau bebas dari *noise*.

Tabel 4. 19 Hasil pengujian model

| Subjek     | Ukuran File | Jumlah Apnea | Durasi Deteksi   |
|------------|-------------|--------------|------------------|
| 1D CNN     |             |              |                  |
| ucddb021   | 34 MB       | 39           | 25 detik         |
| ucddb027   | 33 MB       | 186          | 24 detik         |
| ucddb028   | 27 MB       | 173          | 24 detik         |
| sdb3       | 315 MB      | 230          | 35 detik         |
| LSTM       |             |              |                  |
| ucddb021   | 34 MB       | 240          | 29 detik         |
| ucddb027   | 33 MB       | 240          | 26 detik         |
| ucddb028   | 27 MB       | 240          | 26 detik         |
| sdb3       | 315 MB      | 240          | 1 menit 28 detik |
| 1D CNN FFT |             |              |                  |
| ucddb021   | 34 MB       | 39           | 24 detik         |
| ucddb027   | 33 MB       | 90           | 24 detik         |
| ucddb028   | 27 MB       | 138          | 22 detik         |
| sdb3       | 315 MB      | 239          | 30 detik         |
| LSTM FFT   |             |              |                  |
| ucddb021   | 34 MB       | 14           | 28 detik         |
| ucddb027   | 33 MB       | 93           | 27 detik         |

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

|          |        |     |                  |
|----------|--------|-----|------------------|
| ucddb028 | 27 MB  | 123 | 24 detik         |
| sdb3     | 315 MB | 0   | 1 menit 27 detik |

Pengujian dilakukan untuk membandingkan performa empat jenis model: 1D CNN, LSTM, 1D CNN dengan FFT, dan LSTM dengan FFT, terhadap beberapa file sinyal tidur. Setiap model diuji terhadap file berdurasi 120 menit, yang dibagi menjadi 240 segmen berdurasi 30 detik untuk mendeteksi episode apnea. Hasil menunjukkan bahwa model 1D CNN dan 1D CNN dengan FFT memiliki waktu proses tercepat dan deteksi yang konsisten tinggi, terutama pada file seperti ucddb027 dan ucddb028, yang mencatat lebih dari 170 segmen apnea terdeteksi dari total 240 segmen. Angka ini mengindikasikan bahwa lebih dari 70% periode tidur menunjukkan indikasi apnea, yang cukup mengkhawatirkan (concerning) dari sisi medis. Sebaliknya, model LSTM dan LSTM dengan FFT menunjukkan performa yang tidak stabil dengan waktu proses yang jauh lebih lama dan jumlah deteksi yang rendah, bahkan hingga nol pada file sdb3. Hasil pengujian ini dapat berubah tergantung performa perangkat keras yang digunakan.

Perlu dicatat bahwa file sdb3 memiliki ukuran data yang jauh lebih besar dan *sampling rate* 64 Hz pada *channel termistor*, *thorax*, dan *abdomen* serta 1Hz pada *SpO2*. *Channel termistor* dan *thorax* digunakan sebagai *channel* alternatif yang masih memiliki hubungan dengan *channel flow* dan *sum*. Perbedaan *sampling rate* ini diperlukan penyesuaian *sampling rate* ke 8 Hz agar dapat diproses secara optimal oleh model berbasis CNN. Tanpa penyesuaian ini, hasil deteksi dapat menjadi tidak akurat atau gagal. Secara umum, model 1D CNN menunjukkan keunggulan dalam efisiensi waktu dan kestabilan deteksi, menjadikannya lebih layak untuk implementasi berskala besar. Pendekatan segmentasi 30 detik per 120 menit ini efektif dalam mengukur seberapa sering apnea terjadi selama tidur, dan hasil deteksi dengan jumlah segmen apnea di atas 100 menunjukkan indikasi klinis sleep apnea berat yang perlu ditindaklanjuti secara medis.

#### 4.4.3.2 Hasil Pengujian *Black Box*

Pengujian *black box* dilakukan dengan membandingkan *output* yang diharapkan dengan *output* hasil pengujian. Jika *output* hasil pengujian sesuai dengan *output*

yang diharapkan, maka API dianggap telah berfungsi dengan baik. Sebaliknya, jika *output* tidak sesuai dengan yang diharapkan, API perlu diperbaiki agar dapat berfungsi dengan baik.

Tabel 4. 20 Hasil pengujian *black box*

| <i>Test ID</i> | <i>Expected Output</i>                                                                | <i>Output</i>                                                                         | <i>Status</i> |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| TC01           | 200 OK, JSON dengan <i>apnea_count</i> , <i>lowest_spo2</i> , dan <i>base64 image</i> | 200 OK, JSON dengan <i>apnea_count</i> , <i>lowest_spo2</i> , dan <i>base64 image</i> | <i>Passed</i> |
| TC02           |                                                                                       |                                                                                       | <i>Passed</i> |
| TC03           |                                                                                       |                                                                                       | <i>Passed</i> |
| TC04           |                                                                                       |                                                                                       | <i>Passed</i> |
| TC05           | 400 Bad Request, JSON error: " <i>No file part in request</i> "                       | 400 Bad Request, JSON error: " <i>No file part in request</i> "                       | <i>Passed</i> |
| TC06           | 400 Bad Request, JSON error: " <i>Model cannot be empty</i> "                         | 400 Bad Request, JSON error: " <i>Model cannot be empty</i> "                         | <i>Passed</i> |
| TC07           | 400 Bad Request, JSON error: " <i>File Not Supported</i> "                            | 400 Bad Request, JSON error: " <i>File Not Supported</i> "                            | <i>Passed</i> |
| TC08           | 200 OK, <i>apnea_count</i> = 0, <i>SpO2</i> visual                                    | 200 OK, <i>apnea_count</i> = 0, <i>SpO2</i> visual                                    | <i>Passed</i> |
| TC09           | 400 Bad Request, JSON error " <i>duration is too short</i> "                          | 400 Bad Request, JSON error " <i>duration is too short</i> "                          | <i>Passed</i> |
| TC10           | 500 <i>Internal Server Error</i> , JSON error message                                 | 500 <i>Internal Server Error</i> , JSON error message                                 | <i>Passed</i> |

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Dari seluruh 10 *test case* yang dilakukan, semuanya dinyatakan *passed*. Hal ini menunjukkan bahwa *endpoint* berfungsi dengan baik dan tangguh dalam menangani berbagai jenis *input*, baik valid maupun invalid.

#### 4.4.3.3 Hasil Pengujian *User Acceptance Test* (UAT)

UAT dilakukan oleh dokter IMERI UI dari departemen neurologi RSCM – FKUI. Pengujian dilakukan pada lingkungan produksi situs web SleepWell, situs web di mana model di-*deploy*. Hasil UAT dapat dilihat pada Tabel 4.21

Tabel 4. 21 Hasil UAT

| No                                                               | Pertanyaan                                                                   | Jawaban |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1                                                                | Apakah Anda berhasil mendeteksi <i>obstructive sleep apnea</i> ?             | Ya      |
| 2                                                                | Apakah hasil deteksi sesuai dengan kriteria <i>obstructive sleep apnea</i> ? | Ya      |
| 3                                                                | Apakah output deteksi mudah dipahami?                                        | 4       |
| 4                                                                | Apakah data yang digunakan untuk melatih AI valid?                           | Ya      |
| <b>Saran dan Kritik untuk pengembangan model/AI lebih lanjut</b> |                                                                              |         |
| Saat ini sudah sangat baik                                       |                                                                              |         |

Karena UAT hanya dilakukan oleh satu dokter, maka persentase keberhasilan pada UAT ini dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\text{Persentase keberhasilan model} = \frac{\text{Jumlah "Ya"}}{\text{Jumlah Pertanyaan}} \times 100\%$$

Khusus untuk pertanyaan evaluasi nomor 3, karena jawaban berbentuk angka, maka penyesuaian perlu dilakukan. Jawaban “Ya” dan “Tidak” bersifat biner atau dapat dikonversi menjadi 1 dan 0. Angka 5 sendiri merupakan nilai maksimum yang dapat diberikan dan apabila nilai maksimumnya dibandingkan, maka  $4/5 \times 1 = 0,8$ .

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Persentase keberhasilan model} = \frac{(3 + 0,8)}{4} \times 100\%$$

Dari hasil penyesuaian dan perhitungan persentase keberhasilan model, didapatkan angka 95% sebagai nilai keberhasilan model.

#### 4.4.4 Analisis Data

Analisis data pada pengujian ini meliputi aspek kinerja model dan API. Model akan dianalisis berdasarkan hasil UAT yang telah dilakukan oleh dokter spesialis neurologi IMERI UI dan hasil pelatihan model. Aspek API akan dianalisis berdasarkan hasil pengujian *black box*.

##### 4.4.4.1 Analisis Data Model

Pada tahap implementasi, perbandingan model yang dilatih menggunakan data sinyal mentah dan data yang melalui ekstraksi fitur dengan dua skenario berbeda telah dilakukan. Dari hasil pengujian yang hanya menggunakan skenario 1, jumlah deteksi apnea yang melebihi 100 segmen pada beberapa kombinasi model dan data dapat dikategorikan cukup mengkhawatirkan dan menunjukkan potensi adanya gangguan tidur serius. Misalnya, pada file sdb3 yang berukuran 315 MB, model 1D CNN mendeteksi 230 segmen apnea, dan CNN+FFT mendeteksi 239 segmen, sementara cukup bervariasi, dengan CNN dan CNN dengan FFT mendeteksi antara 39 hingga 186 segmen apnea, sedangkan model LSTM dengan FFT menunjukkan jumlah deteksi yang lebih rendah dan cenderung lebih realistis, yakni 14, 93, dan 123 segmen untuk file ucddb021, ucddb027, dan ucddb028 secara berturut-turut.

Secara umum, model CNN dan CNN dengan FFT menunjukkan konsistensi dalam performa dan waktu inferensi yang relatif cepat, dengan CNN yang dipadukan dengan FFT sedikit lebih efisien dibanding CNN biasa, rata-rata waktu inferensi 22–35 detik per file. Di sisi lain, model LSTM memerlukan waktu inferensi lebih lama, berkisar antara 26 detik hingga 1 menit 28 detik, dengan hasil deteksi yang sangat bervariasi terutama pada file besar seperti sdb3. Hal ini mengindikasikan keterbatasan LSTM dalam menghadapi data berdimensi besar atau kompleksitas temporal tinggi tanpa penyesuaian khusus. Model LSTM dengan FFT menunjukkan



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

waktu inferensi serupa dengan LSTM, namun hasil deteksinya cenderung lebih selektif dan realistis, terutama pada file-file kecil dan sedang, walaupun gagal mendeteksi apnea pada file sdb3.

Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun LSTM unggul dalam memahami pola urutan waktu secara mendalam, arsitektur CNN dan CNN dengan FFT lebih andal dalam hal kecepatan dan kestabilan deteksi untuk data uji dengan berbagai ukuran. Transformasi FFT secara umum tidak memperburuk kinerja waktu inferensi dan justru membantu mereduksi noise pada sinyal, meningkatkan kualitas deteksi. Di sisi lain, model LSTM dengan FFT memberikan hasil deteksi yang tampak paling realistis dan sesuai dengan konteks klinis, karena jumlah deteksi apnea yang tidak berlebihan dan lebih selektif, sesuai dengan pola gangguan pernapasan tidur seperti hypopnea yang lebih dominan daripada apnea penuh. Oleh karena itu, arsitektur CNN dengan FFT dan LSTM dengan FFT sama-sama memiliki kelebihan masing-masing; CNN dengan FFT lebih cocok untuk implementasi *real-time* dengan keterbatasan sumber daya, sementara LSTM dengan FFT lebih tepat untuk aplikasi klinis yang mengutamakan akurasi temporal dan interpretabilitas data. Evaluasi lanjutan terhadap metrik presisi, *recall*, dan validasi klinis tetap diperlukan untuk memastikan kesiapan sistem deteksi apnea ini dalam penggunaan nyata..

#### 4.4.4.2 Analisis Data API

Pengujian *black box* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa seluruh *test case* dinyatakan lolos uji, menandakan bahwa API deteksi sleep apnea bekerja dengan baik tanpa ditemukan kesalahan atau *bug*. Hasil ini mengindikasikan bahwa validasi *input* telah diterapkan secara tepat, baik untuk parameter *file*, model, maupun struktur data yang dikirim. Selain itu, API juga mampu menangani berbagai skenario, termasuk kasus batas minimal durasi sinyal dan input tidak valid, serta memberikan respons yang sesuai seperti kode status HTTP 400 untuk kesalahan *input* dan 500 untuk kesalahan *server* internal.

Fleksibilitas API dalam menangani dua jenis model (CNN dan LSTM) menunjukkan bahwa arsitektur sistem cukup terbuka untuk pengembangan lebih lanjut menggunakan pendekatan model lain. Dari sisi fungsionalitas, API ini sudah menunjukkan kesiapan untuk digunakan dalam skala yang lebih luas, seperti



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

integrasi ke dalam sistem rumah sakit, aplikasi klinis, atau platform monitoring pasien. Namun demikian, meskipun pengujian *black box* ini telah membuktikan keandalan fungsional API, pendekatan ini tidak menguji efisiensi logika internal, konsumsi sumber daya, atau struktur kode. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan seperti *white-box* testing, load testing, dan *profiling* performa sebelum diimplementasikan dalam skala besar.



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Model deep learning berbasis 1D CNN dan LSTM yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan performa yang bervariasi tergantung pada jenis data input dan arsitektur yang digunakan. Setelah dilakukan pengujian terhadap data sinyal pernapasan dari beberapa rekaman EDF dengan ukuran dan kompleksitas berbeda, ditemukan bahwa model LSTM yang dikombinasikan dengan ekstraksi fitur menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) menghasilkan deteksi yang paling realistis dan tidak berlebihan. Sebagai contoh, pada file sdb3 yang memiliki ukuran besar (315 MB), LSTM dengan FFT hanya mendeteksi 0 segmen apnea, sedangkan model CNN dan CNN dengan FFT mendeteksi hingga 230 dan 239 segmen apnea secara berurutan, yang mengindikasikan kemungkinan *false positive* tinggi. Sebaliknya, LSTM dengan FFT cenderung lebih konservatif dan tampak selaras dengan estimasi klinis yang masuk akal.

Dari sisi performa, model CNN dan CNN+FFT menunjukkan kecepatan yang tinggi, rata-rata 22–30 detik per *file*, dan konsistensi hasil pada data berukuran kecil. Namun, model LSTM, meskipun lebih lambat (hingga 1 menit 28 detik), memiliki sensitivitas temporal yang lebih baik dalam kasus tertentu dan performa yang lebih stabil saat dioptimalkan dengan transformasi FFT. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa arsitektur LSTM dan FFT menjadi kandidat terbaik dalam hal keseimbangan antara keakuratan dan realisme deteksi untuk implementasi awal sistem pendeteksi apnea berbasis sinyal pernapasan. Meski begitu, sistem ini bersifat pendukung dan belum dapat dijadikan alat diagnosis utama. Evaluasi dan verifikasi lebih lanjut oleh tenaga medis profesional tetap diperlukan untuk penentuan diagnosis yang valid dan menyeluruh.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## 5.2 Saran

Beberapa rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang meliputi:

- Peningkatan variasi data pelatihan. Untuk meningkatkan generalisasi model, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan lebih banyak variasi data sinyal pernapasan dari berbagai subjek, usia, dan kondisi klinis. Hal ini penting agar model dapat mengenali pola apnea dengan lebih akurat pada populasi yang lebih luas..
- Ekseplorasi arsitektur *hybrid*. Hasil menunjukkan bahwa LSTM dengan ekstraksi fitur FFT memberikan hasil deteksi yang lebih realistis dan stabil. Oleh karena itu, penggabungan arsitektur CNN dan LSTM (hybrid CNN-LSTM) dapat dieksplorasi untuk memanfaatkan kekuatan keduanya, yaitu kemampuan spasial CNN dan temporal LSTM.
- Penambahan *channel*. Penelitian ini masih terbatas pada beberapa *channel* seperti *flow*, *sum*, *abdomen*, dan *SpO2*. Untuk meningkatkan akurasi deteksi, saran ke depan adalah menambahkan kanal seperti *ribcage* dan *pulse rate* selama *channel* tersedia dan relevan.
- Implementasi model ke dalam sistem yang dapat digunakan secara *real-time* atau *semi-real-time*, seperti perangkat *wearable*, dapat menjadi langkah lanjutan. Namun, perlu diperhatikan efisiensi komputasi dan optimasi kecepatan inferensi.
- Pengujian menggunakan sinyal yang memiliki *noise*. Pengujian ini dapat dilakukan untuk memastikan dan menguji kemampuan model dalam melakukan klasifikasi.

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abd-alrazaq, A., Aslam, H., AlSaad, R., Alsahli, M., Ahmed1, A., Damseh, R., Aziz, S., & Sheikh, J. (2024). Detection of Sleep Apnea Using Wearable AI: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Medical Internet Research*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/58187>
- Amal, R. A.-N., Nadine, A., Antonisamy, B., Ibrahim, J., Ahmed, A., & Abu-Hasan, M. (2025). The High Prevalence of Continuous Paradoxical Breathing During Sleep in Children With Obesity and Its Relationship With Obstructive Sleep Apnea. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.77479>
- Annisarahma, L., Karima, N., Sangging, P. R. A., & Rudiyanto, W. (2024). Obstructive Sleep Apnea (OSA) pada Usia Produktif. *Journal of Medula*.
- Ao, R., & He, G. (2023). Image based deep learning in 12-lead ECG diagnosis. *Frontiersin*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/frai.2022.1087370>
- Coronel, C., Wiesmeyr, C., Garn, H., Kohn, B., Wimmer, M., Mandl, M., Glos, M., Penzel, T., Klösch, G., Stefanic-Kejik, A., Böck, M., Kaniusas, E., & Seidel, S. (2020). Detection of Respiratory Events by Respiratory Effort and Oxygen Desaturation. *Journal of Medical and Biological Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40846-020-00524-9>
- Ganglberger, W., Blucklin, A. A., Tesh, R. A., Cardoso, M. D. S., Sun, H., Leone, M. J., Paixao, L., Panneerselvam, E., Ye, E. M., Thompson, B. T., Akeju, O., Kuller, D., Thomas, R. J., & Westover, M. B. (2022). Sleep apnea and respiratory anomaly detection from a wearable band and oxygen saturation. *PubMed*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11325-021-02465-2>
- Gosala, B., Kapgate, P. D., Jain, P., Chaurasia, R. N., & Gupta, M. (2023). Wavelet transforms for feature engineering in EEG data processing: An application on Schizophrenia. *Science Direct*, 85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bspc.2023.104811>
- Khairunisa, N. K., & Hendikawati, P. (2024). Long Short-Term Memory and Gated



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Recurrent Unit Modeling for Stock Price Forecasting. *Journal Unhas*, 21, 321–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.20956/j.v21i1.35930>

Lukas, Praptiwi, R. A., Priandika, A. T., Suaidah, & Alita, D. (2024). Implementasi REST API pada Manajemen Stok Barang Berbasis Aplikasi Web (Studi Kasus: PT Jon Kuliner Indonesia). *Jurnal Teknik Komputer Universitas Diponegoro*, 3. <https://doi.org/DOI:10.14710/jtk.v3i1.46234>

Nasichah, S. D., & Astuti Rochiatun. (2025). Analisis sinyal Plethysmogram dengan Metode Transmisi dan Reflektansi. *Universitas Airlangga*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/5.0163250>

Ndun, Y. G., Bitin, P., & Arrizal, A. F. R. (2025). Implementasi Algoritma FFT untuk Deteksi Nada dalam Analisis Frekuensi Suara. *Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 4. <https://doi.org/10.29407/2g141y12>

Nur, A. K. P., & Ichsanuddin, D. (2023). Penggunaan Bahasa Python untuk Analisis dan Visualisasi Data Penduduk. *Jurnal JPM Universitas Samawa*. <https://doi.org/DOI: 10.5281/zenodo.10037661>

Petmezas, G., Stefanopoulos, L., Kilintzis, V., Tzavelis, A., Rogers, J. A., Katsaggelos, A. K., & Maglaveras, N. (2024). State-of-the-Art Deep Learning Methods on Electrocardiogram Data: Systematic Review. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute(MDPI)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2196/38454>

Saian, H. L. W., & Nugraha, P. O. (2023). Penerapan Framework Flask pada Pembangunan Sistem Informasi Pemasok Barang. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 7. <https://doi.org/DOI: 10.35870/jtik.v7i2.729>

Troester, M. M., Quan, S. F., Berry, R. B., Plante, D. T., Abreu, A. R., Alzoubaidi, M., Bandyopadhyay, A., DelRosso, L., Ebben, M., Kwon, Y., Mao, M.-M., Munir, S. S., Pressman, M. R., Rodriguez, A. J., Ryals, S., So, J. Y., Vaughn, B. V., & Thomas, S. M. (2023). *The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events*. AASM (American Academy of Sleep Medicine).



## © Hak Cipta milik Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

Wang, Y., Chen, Z., Tian, S., Zhou, S., Wang, X., Xue, L., & Wu, J. (2022). Convolutional Neural Network-Based ECG-Assisted Diagnosis for Coal Workers. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute(MDPI)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph20010009>



### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**



Penulis bernama Praba Arya Elmahdi, lahir di Kota Serang, Banten pada 17 Oooktober 2002. Penulis pernah menuntut ilmu di SMP Islam Al-Azhar 11 Serang (2015-2018) dan MAN 2 Kota Serang (2018-2021). Penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Jakarta dan luulus pada tahun 2025.

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Surat izin observasi



## UNIVERSITAS INDONESIA FAKULTAS KEDOKTERAN

Gedung Fakultas Kedokteran UI  
Jl. Salemba Raya No.6, Jakarta 10430  
PO.Box 1358  
T. 62.21.3912477, 31930371, 31930373,  
3922977, 3927360, 3153236,  
F 62 21 3912477, 31930372, 3157288,  
E. humas@fk.ui.ac.id, office@fk.ui.ac.id  
fk.ui.ac.id

### NOTA DINAS

Nomor: ND-2152/UN2.F1.D1/SDM.05/2025

Yth. : Ketua Departemen Neurologi  
Dari : Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura, dan Administrasi Umum  
Lampiran : satu lembar  
Perihal : Permohonan Tanggapan Izin Observasi

Sehubungan dengan surat dari Politeknik Negeri Jakarta nomor 2744/PL3/PK.01.09/2025 tanggal 6 Maret 2025 perihal tersebut di atas, dengan ini kami mohon tanggapan terkait permohonan izin observasi di departemen Saudara dan permohonan izin staf Saudara yaitu:

Dr. dr. Astri Budikayanti, Sp.S.

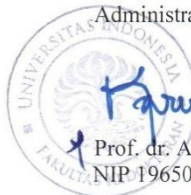
untuk menjadi pembimbing kedua mahasiswa program studi Teknik Informatika Jurusan Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta, yaitu:

| No | Nama Mahasiswa     | NIM        | Judul Penelitian                                                                                                                      |
|----|--------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Wahyu Agung Utomo  | 2107412007 | "Sistem Deteksi Berbasis Web Untuk Kelainan Tidur Sleep Apnea Melalui Transformasi Sinyal Pernafasan ke Citra Berbasis Deep Learning" |
| 2  | Praba Arya Elmahdi | 2107412023 |                                                                                                                                       |

Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami mengucapkan terima kasih.

18 Maret 2025

Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura, dan  
Administrasi Umum,



Prof. dr. Anis Karuniawati, Sp.MK(K), Ph.D.  
NIP.196509171991102001

Tembusan:

1. Wakil Direktur Bidang Kemahasiswaan Politeknik Negeri Jakarta; dan
2. Dr. dr. Astri Budikayanti, Sp.S.



## Lampiran 2 Form UAT (1)

### Formulir Persetujuan Setelah Penjelasan (Informed Consent)

User Acceptance Testing (UAT) Aplikasi SleepWell

#### Deskripsi Singkat:

Anda diundang untuk berpartisipasi dalam proses UAT terhadap aplikasi SleepWell, sebuah aplikasi berbasis web untuk membantu mendeteksi gangguan tidur seperti sleep apnea berdasarkan sinyal pernapasan. UAT ini bertujuan untuk menilai fungsionalitas, keandalan, serta pengalaman pengguna sebelum peluncuran versi final aplikasi.

#### Tujuan Kegiatan:

Menilai kelayakan aplikasi SleepWell melalui umpan balik pengguna setelah mencoba seluruh fitur, mulai dari pembuatan akun, penggunaan fitur unggah data, hingga melihat hasil deteksi.

#### Tugas Partisipan:

- Membuat akun pada aplikasi SleepWell
- Mengisi dan menyimpan data profil
- Mengunggah file uji (.edf/.csv)
- Memilih model prediksi (CNN/LSTM)
- Melihat dan menilai hasil deteksi

#### Hak dan Kerahasiaan:

- Partisipasi Anda bersifat sukarela dan dapat dibatalkan kapan saja tanpa konsekuensi.
- Semua data yang Anda berikan hanya digunakan untuk keperluan evaluasi sistem.
- Data pribadi (email, nama, dan lain-lain) akan dijaga kerahasiaannya dan tidak dibagikan kepada pihak ketiga.

#### Keuntungan bagi Partisipan:

- Membantu pengembangan sistem yang bermanfaat bagi deteksi gangguan tidur.

#### Risiko atau Ketidaknyamanan:

- Tidak terdapat risiko fisik dalam proses ini.
- Hasil yang ditampilkan dari aplikasi bukan merupakan diagnosis medis final.

#### Pernyataan Persetujuan:

Saya menyatakan bahwa saya telah membaca dan memahami informasi di atas. Saya bersedia berpartisipasi dalam UAT aplikasi SleepWell secara sukarela dan memberikan data/penilaian.

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



### Lampiran 3 Form UAT (2)

#### Biodata Penguji

Nama Lengkap : Dr. Dinda Larastika Riyanto, Sp.N.  
Email : dindalriyanto@gmail.com  
Tanggal : 07 Juli 2025

- ☒ Saya menyetujui untuk mengikuti UAT dan memberikan umpan balik secara sukarela.  
☐ Saya menyadari bahwa hasil deteksi tidak menggantikan diagnosis dokter.

Tanda Tangan

Dr. Dinda Larastika Riyanto, Sp.N.  
Departemen Neurologi RSCM - FKUI

POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta



## Lampiran 4 Form UAT (3)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

### Formulir User Acceptance Testing (UAT) SleepWell

#### SleepWell – UAT

Form ini dibuat untuk melakukan User Acceptance Testing (UAT) terhadap aplikasi SleepWell. Aplikasi ini digunakan untuk mendeteksi sleep apnea berdasarkan sinyal pernapasan. Anda diminta untuk membuat akun sendiri, mencoba seluruh fitur dalam aplikasi, dan memberikan penilaian berdasarkan pengalaman penggunaan. Mohon isi form ini setelah mencoba seluruh proses dari awal hingga akhir. Masukan Anda sangat membantu dalam proses penyempurnaan sistem.

#### Bagian Pengujian Fungsionalitas Aplikasi

- Apakah Anda berhasil membuat akun tanpa kendala?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah login ke aplikasi berjalan lancar?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah Anda dapat mengisi dan menyimpan data profil Anda?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah Anda berhasil mengunggah file sinyal pernapasan (.edf / .csv)?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah pilihan model (CNN/LSTM) tersedia dan berfungsi?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah hasil deteksi ditampilkan dengan jelas dan dapat dipahami?  
☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5  
(1 = Tidak Jelas, 5 = Sangat Jelas)
- Apakah riwayat hasil deteksi Anda tersimpan dan dapat dilihat kembali?  
☒ Ya ☐ Tidak

#### Bagian Pengujian Fungsionalitas Model Deteksi Sleep Apnea

- Apakah Anda berhasil mendeteksi obstructive sleep apnea?  
☒ Ya ☐ Tidak
- Apakah hasil deteksi sesuai dengan kriteria obstructive sleep apnea?  
☒ Ya ☐ Tidak



## Lampiran 5 Form UAT (4)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Apakah output deteksi mudah dapat dipahami?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☒ 4   ☐ 5  
(1 = Sulit, 5 = Sangat Mudah)
- Apakah data yang digunakan untuk melatih AI valid?  
☒ Ya   ☐ Tidak

### Bagian Pengalaman Pengguna (UX/UI)

- Seberapa mudah Anda menggunakan aplikasi ini?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☒ 5  
(1 = Sangat Sulit, 5 = Sangat Mudah)
- Bagaimana penilaian Anda terhadap tampilan antarmuka aplikasi (desain/UI)?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☒ 5

(1 = Tidak Menarik, 5 = Sangat Menarik)

- Seberapa cepat aplikasi merespons tindakan Anda?  
☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☒ 4   ☐ 5  
(1 = Sangat Lambat, 5 = Sangat Cepat)
- Apakah Anda menemukan error/bug selama menggunakan aplikasi?  
☐ Ya   ☒ Tidak

### Bagian Masukan dan Kesimpulan

- Fitur apa yang paling membantu menurut Anda?
  - Kemampuan aplikasi untuk dapat mendeteksi sleep apnea dan penurunan saturasi, serta menampilkan gambaran visual gelombang





## Lampiran 6 Form UAT (5)

### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin dari Jurusan TIK Politeknik Negeri Jakarta

- Fitur mana yang menurut Anda masih perlu ditingkatkan?
  - Signal elektroda yang digunakan untuk selanjutnya perkembangan dapat ditambahkan thoracal/ribcage serta thermal
  - Perhitungan jumlah apnea/durasi tidur agar didapatkan nilai apnea-hipopnea index (AHI)
- Apakah aplikasi ini sudah layak untuk digunakan secara umum?  
☒ Ya      ☐ Tidak      ☐ Belum Yakin

- Saran dan kritik untuk pengembangan aplikasi lebih lanjut:

- Pematangan signal2 yang digunakan
- Penambahan perhitungan index
- Penggunaan sampel pasien untuk validasi aplikasi yang lebih baik

- Saran dan kritik untuk pengembangan model/AI lebih lanjut:

- Saat ini sudah sangat baik

Demikian formulir ini disusun sebagai bagian dari kegiatan evaluasi sistem aplikasi SleepWell. Kami sangat menghargai partisipasi Anda dalam memberikan umpan balik demi penyempurnaan aplikasi ini ke depannya.

Atas waktu dan kesediaan Anda, kami ucapkan terima kasih.

