

**SISTEM KLASIFIKASI PERNAPASAN UNTUK DETEKSI *MOUTH*
BREATHING PADA ANAK BERBASIS KAMERA TERMAL
MENGUNAKAN *RULE BASED CLASSIFICATION***

LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK KOMPUTER



**DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS ANDALAS**

PADANG

2026

**SISTEM KLASIFIKASI PERNAPASAN UNTUK DETEKSI *MOUTH*
BREATHING PADA ANAK BERBASIS KAMERA TERMAL
MENGUNAKAN *RULE BASED CLASSIFIATION***

LAPORAN TUGAS AKHIR

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Sarjana
Pada Departemen Teknik Komputer Universitas Andalas*



**DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

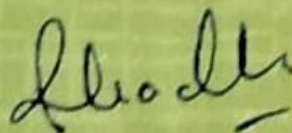
Nama : Mutiara Hikmah
No.BP : 2111512030
Judul Tugas Akhir : *Sistem Klasifikasi Pernapasan Untuk Deteksi Mouth Breathing Pada Anak Berbasis Kamera Termal Menggunakan Rule Based Detection*

Tugas Akhir ini disetujui oleh Dosen Pembimbing dan disahkan oleh Ketua Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi Universitas Andalas.

Demikianlah lembaran pengesahan ini dibuat untuk diketahui bersama.

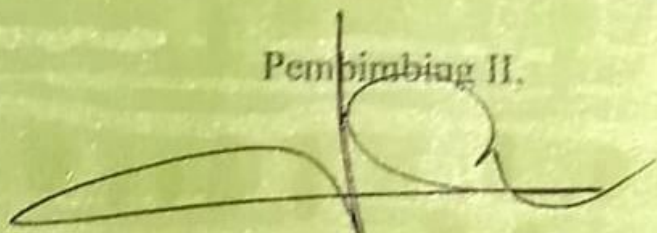
Padang, 21 Agustus 2026

Pembimbing I,



(Rizka Hadelina, MT)
NIP. 199404292022032014

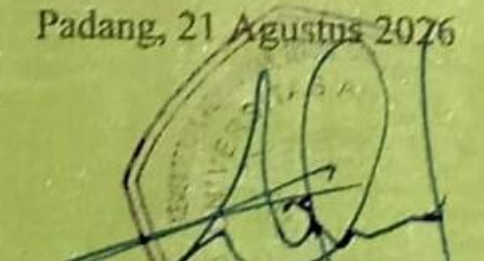
Pembimbing II,



(drg. Puji Kurnia, MDSc, Sp.KGA)
NIP. 198809012019032014

Mengetahui :

Ketua Departemen Teknik Komputer
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Andalas
Padang, 21 Agustus 2026



(Dr. Eng. Tati Erlina MIT)
NIP. 197804142002122003

LEMBARAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Dengan ini dinyatakan bahwa :

Nama : Mutiara Hikmah

No.BP : 2111512030

Judul Tugas Akhir : Sistem Klasifikasi Pernapasan Untuk Deteksi *Mouth Breathing*
Pada Anak Berbasis Kamera Termal Menggunakan *Rule Based Classification*

Telah diujikan dan telah disetujui Seminar Hasil Tugas Akhirnya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) melalui Sidang Tugas Akhir yang diadakan pada tanggal 4 Agustus 2026 berdasarkan ketentuan yang berlaku.

Mengetahui :

Ketua Departemen Teknik Komputer
Fakultas Teknologi Informasi
Universitas Andalas
Padang, 21 Agustus 2026



(Dr. Eng. Lati Erlina, M.I.T)
NIP. 197804142002122003

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir dengan judul "**Sistem Klasifikasi Pernapasan Untuk Deteksi Mouth Breathing Pada Anak Berbasis Kamera Termal Menggunakan Rule Based Classification**" adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana, Magister, dan Doktor), baik di Universitas Andalas maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Tugas Akhir ini murni gagasan dan rancangan saya sendiri, tanpa bantuan tidak sah dari pihak lain, kecuali bantuan dan arahan dari tim pembimbing.
3. Tugas Akhir ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan sebagai acuan dalam tulisan saya dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik serta sanksi lainnya sesuai dengan norma dan ketentuan lain yang berlaku.

Demikianlah surat ini dibuat, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Padang, 21 Agustus 2026

Vari membuat pernyataan.



HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdulillah Rabbil'aalamiin

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wassalam, beserta keluarga, sahabat dan seluruh pengikutnya pada akhir zaman yang semoga selalu diberkahi.

MY WONDERFUL FAMILY

Terima kasih yang tak terhingga untuk **Bunda dan Ayah** yang tidak pernah berhenti memberikan semangat, support, dan doa tulus. Terima kasih telah menjadi ruang aman yang tidak pernah membandingkan pencapaian saya dengan orang lain, serta selalu sabar menghadapi sikap saya yang sedikit keras kepala dan *bad mood* selama penyusunan tugas akhir ini.

Terima kasih juga penulis ucapkan **Adik-Adik Tercinta** Terima kasih atas tawa, candaan, dan kepolosan kalian yang selalu berhasil meredakan beban pikiran. Kehadiran kalian adalah *stress release* terbaik di tengah penatnya pengerjaan skripsi ini.

DOSEN TEKNIK KOMPUTER

Penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya kepada **Ibu Rizka Hadelina, MT** dan **drg. Puji Kurnia, MDSc, Sp.KGA** selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Penulis. Terima kasih yang mendalam atas kesabaran, waktu, dan ilmu yang telah dibagikan. Terima kasih telah berkenan membimbing, mengarahkan, dan mendampingi Penulis dengan sangat sabar dari awal hingga akhir, baik pada saat proses *development* alat maupun tahap

pengujian. Bimbingan dan arahan Ibu serta Dokter sangat berarti dalam penyempurnaan Tugas Akhir ini.

ELECTRA ENGLISH COURSE

Mungkin bagi sebagian orang timbul pertanyaan, apa hubungannya sebuah tempat belajar bahasa Inggris dengan proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Namun di **ELECTRA**, Penulis tidak hanya diajarkan bahasa Inggris, melainkan juga mendapatkan ruang untuk menajamkan strategi berpikir, belajar arti kekompakan, serta memantik semangat juang untuk terus maju.

Terima kasih kepada kakak-kakak dan seluruh anggota di **ELECTRA** atas dorongan energi positif serta ilmu kehidupan luar biasa yang sangat berperan penting dan menguatkan Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

TEMAN SEPERJUANGAN

Kepada **Khairun nisak**, terima kasih banyak sudah selalu ada dan menemani dalam setiap proses *development* alat ini. Terima kasih telah memberikan rasa tenang dan menjadi tempat bercerita yang paling nyaman di saat kepala terasa penuh. Semoga setiap langkahmu dimudahkan, diberikan kelancaran hingga sidang akhir, dan segera menyusul meraih gelar S.T.-nya ya!

Kepada **Sherly**, terima kasih sudah setia membersamai perjalanan panjang pengerjaan Tugas Akhir ini selama hampir satu tahun. Terima kasih atas setiap semangat, support tanpa henti, dan gelak tawa di sela-sela kepenatan pengerjaan TA. *Finally, we are here!* Semoga kita dapat segera meraih kesuksesan dan membanggakan orang tua masing-masing. Semoga kebersamaan dan persahabatan kita tidak berhenti pada pengerjaan TA atau hari wisuda saja, tetapi terus berlanjut ke babak kehidupan selanjutnya.

DIGIKOM FAMZ

Digikom adalah keputusan terbaik yang pernah aku buat di masa perkuliahan. Di sini, aku belajar memberanikan diri, bekerja sama, dan menghadapi berbagai karakter yang berbeda. Banyak proses yang tidak selalu mudah, tapi semuanya

membantu aku keluar dari zona nyaman dan bisa mengenal diri lebih jauh lagi. Terima kasih untuk **Kak Dina, Kak Lola, Kak Nada, Kak Iin, dan Kak Mita** yang selalu berbagi pengalaman dan cerita. Terima kasih untuk **Bang Rama, Kak Wella, Kak Rani, Bang Iqshan, Kak Clara, Bang Farid** atas kebersamaan, bantuan, obrolan santai, dan kerja samanya. Terkhusus untuk **Hafizh, Haris, Lola, Davi, Sherly, Alvi, Fazya, dan Aisyah**, terima kasih sudah menjadi teman seperjalanan yang saling menguatkan, saling bantu, dan sama-sama berjuang di setiap prosesnya. Tak lupa untuk adik – adik angkatan **22 & 23: Diaz, Adit, Berka, Fifah, Elvi, Nabila, Lisa, Hafiz Nur, Fajar, Dila, Ahmad, Afdhal, Noval, Farid, Qila, Dinda, Bima, dan Sulthan**, terima kasih atas semangat, keceriaan, dan warna baru yang kalian bawa ke dalam lab kita. Kehadiran kalian selalu bikin suasana jadi lebih hidup.

UNTUK DIRI SENDIRI

Terima kasih untuk diriku sendiri. Terima kasih karena sudah mau bertahan dan berjuang sejauh ini, meskipun tidak sedikit malam yang diwarnai rasa lelah, cemas, dan ragu pada kemampuan diri. Terima kasih telah memilih untuk terus berjalan, walau pelan, walau langkah terasa berat. Ingatlah bahwa hari ini bukanlah titik akhir, melainkan awal dari perjuangan yang baru. Jangan pernah berpuas diri dalam menuntut ilmu, dan jangan pernah kapok untuk menimba ilmu lagi di bangku kuliah untuk jenjang selanjutnya. Ayo terus belajar mengendalikan dan meminimalisir sifat *procrastination* itu, sedikit demi sedikit. Terima kasih sudah tidak menyerah pada dirimu sendiri.

Chase your dreams, it starts from here. I'm proud of you for making it this far.

KATA PENGANTAR

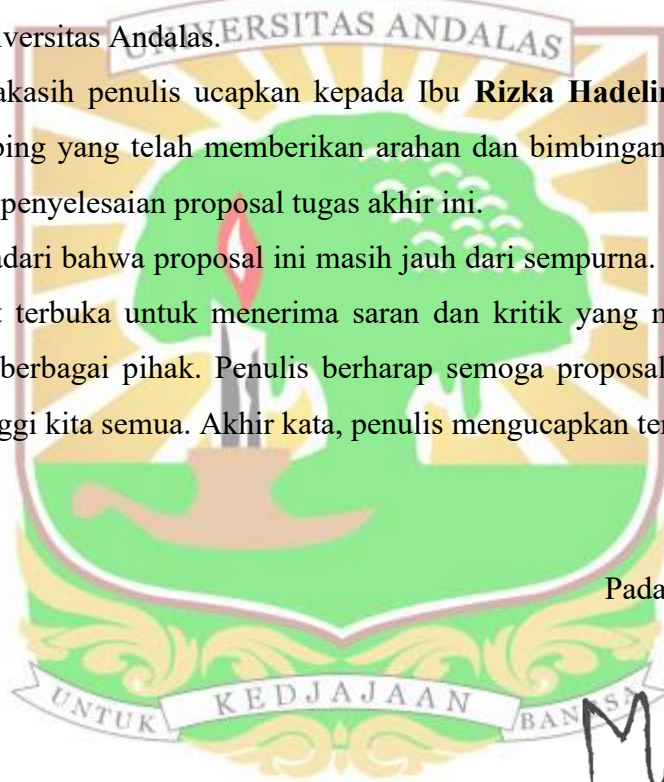
Pertama – tama penulis panjatkan puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat serta karunia – Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Sistem Deteksi *Mouth Breathing* Pada Anak Berbasis Kamera Termal Menggunakan *Rule Based Classification***”. Laporan ini merupakan salah satu syarat untuk melaksanakan penelitian Tugas Akhir di Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas.

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada Ibu **Rizka Hadelina, M.T** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis selama proses penyelesaian proposal tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka untuk menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca dan berbagai pihak. Penulis berharap semoga proposal tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih.

Padang, 19 Juli 2025

Penulis



Mary Hani

**SISTEM KLASIFIKASI PERNAPASAN UNTUK DETEKSI *MOUTH*
BREATHING PADA ANAK BERBASIS KAMERA TERMAL
MENGUNAKAN METODE *RULE-BASED DETECTION***

Mutiara Hikmah¹, Rizka Hadelina, M.T.²

¹Mahasiswa Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas

²Dosen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas

ABSTRAK

Mouth breathing (bernapas melalui mulut) merupakan kebiasaan buruk oral yang umum terjadi pada anak-anak dan, apabila berlanjut hingga dewasa, berkaitan dengan maloklusi, karies gigi, dan gangguan kualitas tidur. Metode deteksi yang ada saat ini masih mengandalkan pengamatan klinis yang bersifat subjektif atau sensor berbasis kontak yang tidak nyaman digunakan pada anak-anak dan kurang praktis untuk pemantauan di rumah. Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem non-kontak yang mengklasifikasikan mode pernapasan menggunakan kamera thermal FLIR Lepton 3.5. Sistem mendeteksi wajah serta melokalisasi *landmark* hidung dan mulut menggunakan MediaPipe, mengekstraksi suhu rata-rata dari setiap *Region of Interest (ROI)*, dan mengklasifikasikan mode pernapasan menggunakan metode *rule-based* yang menerapkan threshold pada standar deviasi sinyal suhu mulut yang telah dihaluskan (*smoothed*). Raspberry Pi 5 menjalankan keseluruhan pipeline secara lokal, dengan hasil disampaikan melalui bot Telegram dan buzzer sebagai penanda ketika wajah tidak terdeteksi. *Leave-One-Subject-Out cross-validation* pada delapan anak menghasilkan threshold sebesar 0,561°C dengan AUC sebesar 0,754. Validasi terhadap tiga anak yang telah dinilai secara klinis mencapai akurasi keseluruhan sebesar 89,2%. Kamera yang digunakan memenuhi spesifikasi target berupa resolusi 160×120 piksel dan NETD di bawah 100 mK, dengan hasil pengukuran sebesar 74,8 mK. Deteksi tetap konsisten benar pada sembilan dari sepuluh jendela waktu satu menit selama sesi pengujian 10 menit.

Kata Kunci: *mouth breathing*, kamera thermal, *rule-based detection*, klasifikasi pernapasan, deteksi non-kontak

SYSTEM FOR RESPIRATORY CLASSIFICATION TO DETECT *MOUTH BREATHING* IN CHILDREN BASED ON THERMAL CAMERA USING *RULE-BASED DETECTION* METHOD

Mutiara Hikmah¹, Rizka Hadelina, M.T.²

**¹ *Computer Engineering student, Faculty of Information Technology,
Universitas Andalas***

**² *Lecturer of Computer Engineering, Faculty of Information Technology,
Universitas Andalas***

ABSTRACT

Mouth breathing is a common oral bad habit in children and, when it persists into adulthood, is linked to malocclusion, dental caries, and disrupted sleep quality. In Indonesia, malocclusion is estimated to affect 80% of the population, with mouth breathing being one of its contributing factors. Existing detection methods still rely on subjective clinical observation or contact-based sensors, which are uncomfortable for children and impractical for home monitoring. This study proposes a non-contact system that classifies breathing mode using a FLIR Lepton 3.5 thermal camera. The system detects the face and localizes nose and mouth landmarks using MediaPipe, extracts the mean temperature of each Region of Interest (ROI), and classifies breathing mode using a rule-based method that applies a threshold to the standard deviation of the smoothed mouth-temperature signal. A Raspberry Pi 5 runs the entire pipeline locally, with results delivered through a Telegram bot and a buzzer signaling when the face is not detected. Leave-One-Subject-Out cross-validation on eight children produced a threshold of 0.561°C with an AUC of 0.754. Validation against three clinically assessed children achieved an overall accuracy of 89.2%. The camera used met its target specifications of 160×120 pixel resolution and NETD below 100 mK, with a measured result of 74.8 mK. Detection remained consistently correct in nine of ten one-minute windows across a 10-minute test session.

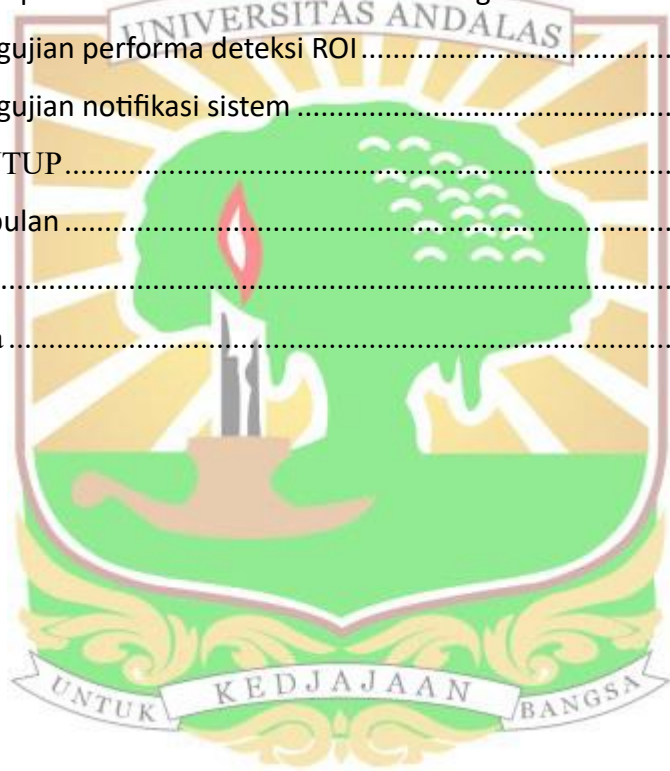
Keywords: mouth breathing, thermal camera, rule-based detection, respiratory classification, non-contact detection

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Pengenalan Masalah	1
1.1.1 Informasi Pendukung Masalah.....	3
1.1.2 Analisis Masalah.....	9
1.1.3Kebutuhan yang harus dipenuhi	10
1.1.4Tujuan.....	10
1.2.1Karakteristik Produk	11
1.2.2Usulan Solusi	12
1.2.2.1Klip Hidung Pintar	12
1.2.2.2Alat deteksi dini berbasis kamera	12
1.2.2.3Alat deteksi berupa smart vest	13
1.2.3Analisis usulan solusi.....	14
1.2.4Solusi yang dipilih.....	16
BAB II SPESIFIKASI	17
2.1 Spesifikasi Produk.....	17
2.1.1 Mendeteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK	17
2.1.2 Mampu membedakan pernapasan melalui mulut atau hidung degan akurasi >80%	21

2.1.3 Mampu mendeteksi kecendrungan mouth breathing berdasarkan pemantauan Thermal dalam rentang waktu 10 menit.	26
2.1.4 Memberikan notifikasi jika terdeteksi melakukan pernafasan mulut..	28
2.2 Verifikasi	29
2.3 Perencanaan Pasar	34
2.3.1 Perkiraan Biaya	35
2.3.2 Analisis Finansial	36
2.3.2.1 Analisis SWOT	36
2.3.2.2 Analisis Kelayakan Finansial	36
BAB III RANCANGAN	39
3.1 Rancangan Umum Sistem	39
3.2 Rancangan Proses	42
3.2.1 Proses Deteksi wajah	43
3.2.2 Proses lokalisasi landmark wajah	45
3.2.3 Ekstraksi dan Pemrosesan Sinyal Suhu	46
3.2.4 Proses Klasifikasi Mode Pernafasan	47
3.2.5 Proses Pengiriman Notifikasi	48
3.3 Rancangan detail Komponen Sistem	49
3.3.1 Rancangan Perangkat keras	49
3.3.2 Rancangan Perangkat Lunak	50
3.3.2.1 Arsitektur Metode	50
3.3.2.2 Dataset	54
3.3.2.3 Proses Metode	54
3.3.2.4 Rencana analisis hasil	55
3.3.2.5 Rancangan antar muka Telegram bot	56
3.4 Rencana Jadwal Pengerjaan	57
BAB IV IMPLEMENTASI	59
4.1 Implementasi Sistem	59
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras	59
4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak	63
4.1.2.1 Implementasi Akuisisi Citra Termal	63

4.1.2.2 Implementasi Preprocessing Frame.....	64
4.1.2.3 Implementasi Deteksi Wajah dan Lokalisasi Landmark	66
4.1.2.4 Implementasi Ekstraksi suhu ROI.....	69
4.1.2.5 Implementasi pemrosesan sinyal.....	69
4.1.2.6 Implementasi notifikasi telegram dan peringatan buzzer.....	76
4.2 Pengujian Sistem	79
4.2.1 Pengujian kemampuan deteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK	79
4.2.2 Pengujian deteksi mendeteksi kecenderungan <i>mouth breathing</i> berdasarkan pemantauan thermal dalam rentang waktu observasi 10 menit	91
4.2.3 Pengujian performa deteksi ROI.....	92
4.2.4 Pengujian notifikasi sistem	95
BAB V PENUTUP.....	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran.....	98
Daftar Pustaka	99

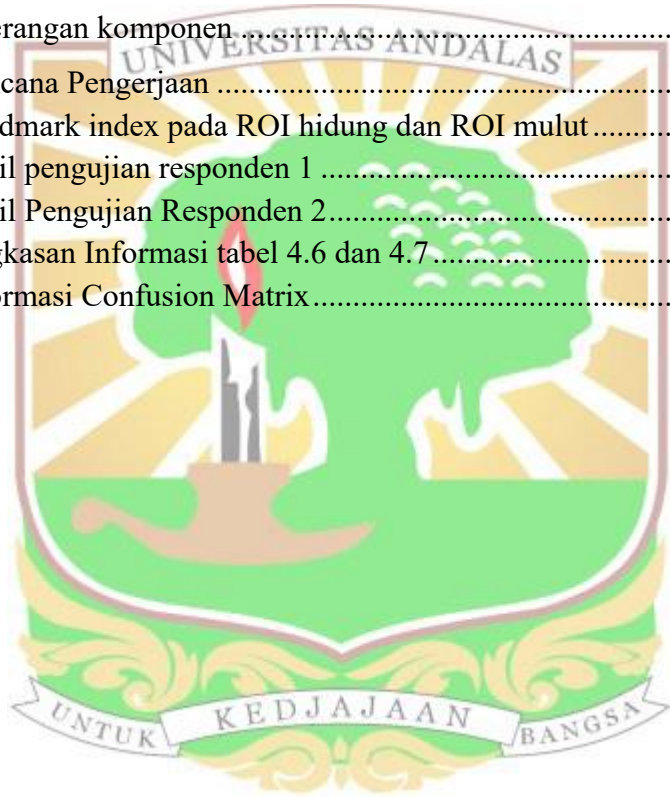


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tipe-tipe maloklusi	4
Gambar 1. 2 adenid face	6
Gambar 2. 1 Gambar Termal	19
Gambar 2. 2 Flir Lepton 3.5.....	20
Gambar 2. 3 I/O board modul kamera	21
Gambar 2. 4 Face detection.....	22
Gambar 2. 5 Raspberry Pi 5	28
Gambar 3. 1 Rancangan Umum sistem.....	39
Gambar 3. 2 Gambar Teknik tampak isometrik	40
Gambar 3. 3 Tampilan 3D alat	41
Gambar 3. 4 Flowchart rancangan umum.....	42
Gambar 3. 5 Flowchart deteksi wajah.....	44
Gambar 3. 6 Flowchart sub proses landmark detection	45
Gambar 3. 7 sub proses pemrosesan sinyal suhu	46
Gambar 3. 8 Sub proses klasifikasi mode pernafasan.....	47
Gambar 3. 9 sub proses pengiriman notifikasi.....	48
Gambar 3. 11 Rancangan Perangkat keras.....	49
Gambar 3. 12 Tampilan notifikasi pada telegram	56
Gambar 3. 13 Gantt Chart Kegiatan.....	58
Gambar 4. 1 Implementasi Sistem	59
Gambar 4. 2 Detail komponen pada sistem	60
Gambar 4. 3 gambar isometrik.....	61
Gambar 4. 4 Desain casing sistem	62
Gambar 4. 5 perbandingan jarak kamera dari subjek.....	63
Gambar 4. 6 konversi citra termal.....	64
Gambar 4. 9 Notifikasi mouth breathing.....	77
Gambar 4. 10 Notifikasi nose breathing	77
Gambar 4. 11 Rangkaian buzzer	78
Gambar 4. 12 informasi resolusi dan FPS FLIR lepton 3.5	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk.....	17
Tabel 2.2 Perbandingan spesifikasi kamera termal	19
Tabel 2.3 Perbandingan algoritma klasifikasi	24
Tabel 2.4 Perbandingan processor.....	27
Tabel 2.5 Notifikasi sistem.....	29
Tabel 2.6 Verifikasi Perangkat	30
Tabel 2.7 Product cost	35
Tabel 2.8 Development Cost	35
Tabel 3. 1 keterangan komponen	40
Tabel 3. 2 Rencana Pengerjaan	57
Tabel 4. 1 Landmark index pada ROI hidung dan ROI mulut.....	68
Tabel 4. 5 Hasil pengujian responden 1	84
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Responden 2.....	85
Tabel 4. 7 Ringkasan Informasi tabel 4.6 dan 4.7.....	86
Tabel 4. 8 Informasi Confusion Matrix.....	87



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Oral bad habits atau kebiasaan buruk pada rongga mulut adalah perilaku yang menyimpang dari fungsi normal mulut dan dapat memengaruhi pertumbuhan struktur wajah dan gigi, yang dikenal sebagai sistem dentokraniofasial. Sistem ini mencakup tulang wajah, rahang, dan gigi. Kebiasaan buruk ini meliputi mengisap jempol (*thumb sucking*), pemberian susu botol (*bottle feeding*), menjulurkan lidah (*tongue thrusting*), menggigit kuku (*nail biting*), bernapas melalui mulut (*mouth breathing*), menggigit bibir (*lip sucking*), dan kebiasaan menggeretak gigi saat tidur (*bruxism*). [1].

Salah satu kebiasaan buruk yang paling sering ditemukan dan berdampak besar terhadap kesehatan mulut adalah *mouth breathing* atau kebiasaan bernapas melalui mulut. Kondisi ini biasanya terjadi ketika seseorang mengalami kesulitan bernapas melalui hidung, sehingga bernapas dilakukan melalui mulut baik secara sadar maupun tidak sadar. *Mouth breathing* umum terjadi pada anak-anak usia di bawah 6 tahun dan dapat berhenti secara alami. Namun, bila kebiasaan ini berlanjut hingga usia lebih tua, dapat menimbulkan dampak jangka panjang yang signifikan terhadap kesehatan mulut dan umum. [2].

Kebiasaan bernapas melalui mulut dapat menyebabkan berbagai gangguan, terutama pada pertumbuhan dan perkembangan struktur wajah serta fungsi oral. Salah satu dampak paling signifikan adalah maloklusi, yakni ketidakaturan susunan gigi dan hubungan rahang. Menurut data dari *World Health Organization (WHO)*, maloklusi menempati peringkat ketiga sebagai masalah kesehatan gigi dan mulut secara global, setelah karies (gigi berlubang) dan penyakit periodontal (radang gusi). Di Indonesia, prevalensinya sangat tinggi, diperkirakan mencapai 80% dari populasi. Hal ini menjadikan maloklusi sebagai salah satu permasalahan kesehatan mulut yang krusial dan perlu mendapat perhatian serius, terutama jika penyebabnya berasal dari kebiasaan yang terjadi sejak masa kanak-kanak, seperti

mouth breathing. Anak-anak yang bernapas melalui mulut cenderung mengalami ketidakseimbangan otot-otot di sekitar rahang dan lidah, yang menyebabkan perubahan arah pertumbuhan rahang dan gigi. Hal ini dapat memicu kondisi seperti gigi maju (protrusi), gigi berjejal, dan penyempitan rahang atas.[2].

Selain memengaruhi susunan gigi, bernafas melalui mulut juga berdampak terhadap kesehatan gigi secara umum, khususnya peningkatan risiko karies gigi. Bernapas melalui mulut menyebabkan mulut menjadi lebih kering (xerostomia) karena produksi air liur yang menurun. Air liur berfungsi penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem mikroba mulut, membantu remineralisasi enamel gigi, dan menghambat pertumbuhan bakteri. Ketika jumlah air liur berkurang, kondisi mulut menjadi lebih asam dan lebih mudah mengalami demineralisasi, sehingga meningkatkan risiko terjadinya karies[3].

Tak hanya itu, mouth breathing juga berkaitan erat dengan gangguan tidur, khususnya pada anak-anak. Kebiasaan ini dapat menyebabkan penyempitan jalan napas bagian atas saat tidur, yang meningkatkan risiko *sleep-disordered breathing* hingga *obstructive sleep apnea (OSA)*. Anak dengan gangguan ini akan mengalami tidur yang tidak nyenyak, sering terbangun di malam hari, mendengkur, dan mengalami penurunan suplai oksigen ke otak. Akibatnya, anak cenderung mengalami kelelahan di siang hari, kesulitan berkonsentrasi, dan gangguan pada prestasi akademik serta perkembangan perilaku[4]

Stakeholder dari masalah ini adalah :

1. Anak dengan kebiasaan *mouth breathing*

Kelompok utama yang terdampak adalah anak-anak yang memiliki kebiasaan bernapas melalui mulut (*mouth breathing*). Kebiasaan ini dapat memengaruhi perkembangan struktur wajah, kesehatan gigi, kualitas tidur, serta kemampuan berbicara dan bernapas secara normal.

2. Orang tua atau keluarga yang memiliki anak yang terbiasa bernafas melalui mulut

Orang tua dan keluarga sering kali mengalami kesulitan dalam memahami penyebab serta dampak bernafas melalui mulut pada anak mereka. Hal ini dapat mempengaruhi perhatian dan dukungan yang diberikan. Solusi yang tepat diharapkan dapat membantu orang tua mengenali gejala, memahami dampaknya, serta mencari intervensi yang sesuai untuk memperbaiki kebiasaan pernapasan anak.

3. Dokter gigi

Dokter gigi berperan dalam menangani dampak bernafas melalui mulut terhadap perkembangan gigi dan struktur rahang anak. Mereka dapat membantu mendiagnosis serta memberikan perawatan ortodontik yang diperlukan, seperti penggunaan alat bantu atau terapi yang bertujuan untuk mengoreksi kebiasaan bernafas melalui mulut agar tidak berdampak lebih buruk pada pertumbuhan wajah dan kesehatan gigi anak.

Dampak yang dihasilkan dari menyelesaikan masalah ini adalah membantu anak-anak dengan kebiasaan bernafas melalui mulut untuk bernafas dengan lebih sehat melalui hidung, sehingga mengurangi risiko gangguan pertumbuhan wajah, masalah gigi, serta meningkatkan kualitas tidur dan konsentrasi mereka. Selain itu, orang tua dan keluarga akan lebih memahami pentingnya pola pernapasan yang benar, sehingga dapat memberikan dukungan yang lebih baik serta mengurangi kekhawatiran terhadap dampak kesehatan anak di masa depan. Bagi dokter gigi, pemecahan masalah ini memungkinkan mereka untuk memberikan perawatan yang lebih efektif dalam mencegah dan mengatasi gangguan struktur rahang serta maloklusi, sekaligus meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan pernapasan dalam perkembangan anak.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

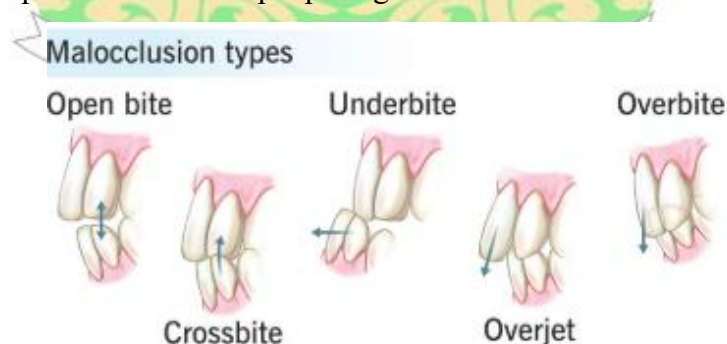
Kesehatan rongga mulut memainkan peran penting dalam tumbuh kembang anak, baik dari segi fungsi oral, estetika, maupun kualitas hidup secara keseluruhan. Salah satu masalah yang sering muncul sejak dini adalah maloklusi gangguan susunan gigi dan hubungan antar rahang yang dapat memengaruhi proses pengunyahan, bicara, hingga kepercayaan diri anak. Salah satu faktor yang

berkontribusi terhadap terjadinya maloklusi adalah kebiasaan bernapas melalui mulut (*mouth breathing*), yang umumnya dimulai sejak usia dini namun luput dari perhatian.

Bernafas melalui mulut secara kronis dapat mengganggu keseimbangan fungsional otot-otot orofasial(otot yang terletak di sekitar mulut dan wajah). Dalam kondisi normal, lidah seharusnya berada di langit-langit mulut dan membantu menstabilkan pertumbuhan rahang atas. Namun pada anak yang bernapas melalui mulut, posisi lidah berpindah ke dasar rongga mulut sehingga tidak memberikan tekanan yang cukup terhadap langit-langit. Hal ini mengakibatkan rahang atas menjadi sempit dan tinggi, serta mengganggu erupsi dan posisi gigi. Beberapa tipe maloklusi yang umum terjadi akibat bernafas melalui mulut meliputi[5]:

1. *Anterior open bite*, yaitu terbentuknya celah antara gigi depan atas dan bawah saat rahang tertutup
2. *Increased overjet*, di mana gigi seri atas terdorong ke depan secara berlebihan
3. *Posterior crossbite*, ketika gigi atas bagian belakang menggigit di dalam gigi bawah akibat sempitnya rahang atas
4. *Skeletal Class II*, yaitu pertumbuhan rahang bawah yang tertinggal sehingga wajah tampak tidak seimbang

Ilustrasi dari tipe maloklusi terdapat pada gambar 1.1

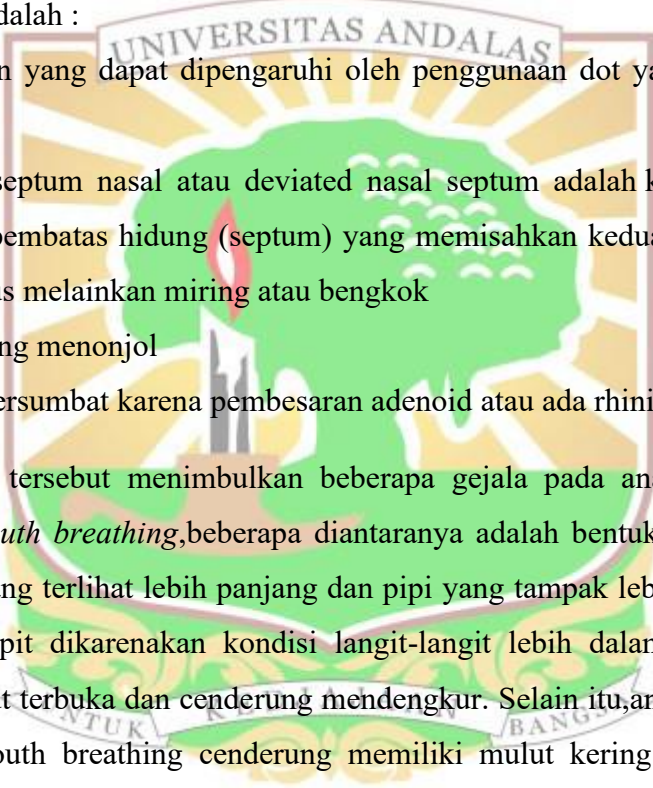


Gambar 1. 1 Tipe-tipe maloklusi [5]

Selain menyebabkan maloklusi, bernafas melalui mulut juga meningkatkan risiko terjadinya karies gigi (gigi berlubang). Ketika bernapas melalui mulut, rongga mulut menjadi lebih kering akibat penguapan saliva yang berlebihan. Mulut

kering (*xerostomia*) mengurangi fungsi pembersihan alami dari air liur, menurunkan pH, dan memfasilitasi pertumbuhan bakteri penyebab karies. Studi menunjukkan bahwa individu dengan kebiasaan bernapas melalui mulut dapat kehilangan sekitar 0,21 ml saliva per menit, yang secara signifikan mempercepat demineralisasi email gigi apabila pH turun di bawah 5,5. Hal ini menjadikan anak-anak dengan kebiasaan bernafasa melalui mulut tidak hanya rentan terhadap gangguan ortodontik, tetapi juga terhadap penyakit gigi berlubang yang progresif. [6].

Beberapa hal yang menyebabkan anak-anak melakukan *mouth berathing* diantaranya adalah :

- 
- a. Kebiasaan yang dapat dipengaruhi oleh penggunaan dot yang tidak sesuai posisinya
 - b. Deviasi septum nasal atau deviated nasal septum adalah kondisi di mana dinding pembatas hidung (septum) yang memisahkan kedua lubang hidung tidak lurus melainkan miring atau bengkok
 - c. Tonsil yang menonjol
 - d. Hidung tersumbat karena pembesaran adenoid atau ada rhinitis alergi

Faktor-faktor tersebut menimbulkan beberapa gejala pada anak-anak dengan kebiasaan *mouth breathing*, beberapa diantaranya adalah bentuk wajah adenoid atau wajah yang terlihat lebih panjang dan pipi yang tampak lebih cekung, bibir atas menyempit dikarenakan kondisi langit-langit lebih dalam, tidur dengan keadaan mulut terbuka dan cenderung mendengkur. Selain itu, anak-anak dengan kebiasaan *mouth breathing* cenderung memiliki mulut kering. Gejala-gejala tersebut umumnya mulai terlihat pada saat anak usia 3 hingga 12 tahun[7].



Gambar 1. 2 *adenoid face* [3]

Metode yang dapat biasa digunakan untuk mengetahui adanya pernafasan mulut, yaitu :

1. Kontrol Alar musculature (Refleks alanasi) Pernafasan yang normal lewat hidung menghasilkan refleks otot-otot cuping hidung (alanasi) yang baik. Saat menarik nafas, secara refleks cuping hidung bergerak dan lubang hidung melebar (refleks alanasi positif), sedangkan pada penderita pernafasan mulut, refleks alanasi negatif .
2. Kaca mulut 2 arah Fungsi hidung pada penderita pernafasan mulut dapat diketahui dengan cara menempatkan kaca mulut 2 arah di bagian bibir atas. Bagian bawah kaca yang berembun, merupakan indikasi bahwa pasien bernafas lewat mulut .
3. *Test Cotton Butterfly* Percobaan untuk mengetahui apakah pada saat pasien menarik nafas, aliran udara masuk melalui hidung atau tidak. Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan kapas tipis yang bagian tengahnya dipelintir hingga berbentuk menyerupai kupu-kupu, dan ditempelkan pada filtrum. Amati masing-masing sayap di depan lubang hidung waktu pasien menarik nafas. Kapas tidak bergetar menandakan tidak ada aliran udara pernafasan lewat hidung (pasien bernafas lewat mulut), sedangkan jika kapas bergetar, berarti pasien bernafas lewat hidung[8].

Berbagai solusi telah dikembangkan untuk mengatasi kebiasaan bernafas melalui mulut pada anak-anak, yang umumnya bertujuan memperbaiki fungsi pernapasan dan mencegah komplikasi ortodontik. Pendekatan yang digunakan mencakup terapi myofungsional untuk melatih otot orofasial, penggunaan alat

ortodontik seperti *myobrace* atau expander untuk memperbaiki struktur rahang dan posisi lidah, serta tindakan medis seperti adenoidektomi atau tonsilektomi apabila penyebabnya adalah obstruksi saluran napas. Penjelasan terkait masing-masing solusi terdapat pada tabel 1.1[10]

Tabel 1.1 Solusi yang sudah ada [10]

Jenis Solusi	Tujuan Utama	Keterangan
Terapi Myofungsional	Melatih otot-otot orofasial agar berfungsi normal	Fokus pada kebiasaan menutup mulut, menempatkan lidah di posisi istirahat yang tepat, serta menormalkan pola menelan. Dilakukan oleh terapis otot mulut dan wajah.
Alat Ortodontik (<i>Myobrace</i> , <i>Expander</i>)	Memperbaiki struktur rahang dan memperluas langit-langit mulut	<i>Myobrace</i> (alat ortodontik fungsional) dan <i>expander</i> (alat pelebar rahang atas) digunakan untuk memperbaiki posisi lidah dan membuka saluran napas yang sempit.
Adenoidektomi/Tonsilektomi	Menghilangkan obstruksi fisik pada saluran napas	Adenoidektomi (pengangkatan adenoid – jaringan limfoid di belakang

Jenis Solusi	Tujuan Utama	Keterangan
		hidung), tonsilektomi (pengangkatan tonsil – amandel) dilakukan jika terjadi pembesaran.
Pelatihan Pernapasan (Buteyko, dll)	Membiasakan pernapasan melalui hidung	Teknik pernapasan seperti metode Buteyko (latihan kontrol napas untuk meningkatkan fungsi pernapasan hidung) dilakukan oleh terapis pernapasan bersertifikat.

Sebelum timbulnya dampak negatif terhadap kesehatan seperti terjadinya Maloklusi dan Karies pada anak diperlukan adanya teknologi untuk dapat melakukan deteksi dini dan langkah preventif terhadap kebiasaan mouth breathing ini. Karena, kebiasaan bernapas melalui mulut cenderung sulit dideteksi secara visual. usia terbaik untuk melakukan deteksi dan intervensi adalah sebelum anak berusia 7 tahun, yakni saat fase pertumbuhan kraniofasial berlangsung pesat dan struktur rongga mulut serta saluran napas masih dalam proses pembentukan. Pada rentang usia ini, anak-anak juga lebih responsif terhadap terapi seperti edukasi perilaku pernapasan, terapi myofungsional, maupun penggunaan alat ortodontik sederhana [7].

Pemantauan aliran udara di sekitar saluran napas dapat dilakukan saat anak dalam keadaan terjaga, seperti saat bermain atau beraktivitas ringan. Teknik ini memanfaatkan sensor yang mampu mengukur perubahan karakteristik udara,

seperti suhu atau kecepatan aliran, untuk mendeteksi pola pernapasan secara real-time. Sensor ini biasanya dipasang di sekitar wajah anak-anak.[9]

Selain itu, terdapat pula perangkat pemantau pernapasan yang dirancang dalam bentuk wearable atau alat yang bisa dipakai, misalnya yang ditempel di dada anak. Alat ini bekerja dengan mencatat pola pernapasan dan mengirimkan informasi kepada orang tua melalui aplikasi atau tampilan sederhana. Tujuannya adalah agar orang tua dapat mengetahui kapan anak mulai bernapas melalui mulut, sehingga bisa mengambil langkah pencegahan lebih awal[10]

Teknologi yang lebih canggih juga mulai menggunakan kamera termal atau sensor suhu untuk melihat perbedaan udara yang keluar dari hidung dan mulut tanpa harus menyentuh tubuh anak. Ini memberikan kenyamanan tambahan dan sangat cocok digunakan di rumah. Semua pendekatan ini memiliki tujuan yang sama, yaitu menyediakan alat yang mudah digunakan, tidak mengganggu aktivitas anak, dan bisa memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mendeteksi dini kebiasaan mouth breathing sejak usia dini[11]

Agar teknologi deteksi pernafasan mulut pada anak dapat benar-benar bermanfaat di lingkungan rumah, alat tersebut harus dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan penggunaan oleh orang tua, terutama mereka yang tidak memiliki latar belakang medis atau teknis. Antarmuka pengguna (*user interface*) perlu dibuat sederhana, intuitif, dan dalam bahasa yang mudah dimengerti, misalnya menggunakan ikon visual, notifikasi otomatis, serta panduan penggunaan yang jelas. Alat juga sebaiknya portabel, mudah dipasang dan dilepas, serta tidak memerlukan kalibrasi yang rumit. Beberapa perangkat modern bahkan menyertakan koneksi ke aplikasi ponsel pintar yang memungkinkan orang tua memantau pola napas anak, menerima peringatan dini jika ditemukan pola abnormal, serta menyimpan riwayat data sebagai bahan konsultasi ke dokter[12].

1.1.2 Analisis Masalah

Analisis permasalahan memiliki beberapa aspek yang harus diperhatikan, pada topik permasalahan yang penulis angkat terdapat beberapa aspek antara lain:

1. Aspek Kesehatan

Anak dengan kebiasaan mouth breathing memiliki resiko untuk terkena Maloklusi atau ketidaksejajaran gigi dan rahang. Selain itu kebiasaan ini juga dapat menyebabkan karies pada gigi dan gangguan kualitas tidur pada anak.

2. Aspek Ekonomi

Perawatan kesehatan untuk masalah akibat mouth breathing, seperti terapi ortodontik, operasi gigi, dan pengobatan infeksi pernapasan, memerlukan biaya tinggi. Dengan mencegah kebiasaan ini, pengeluaran medis bisa berkurang.

3. Aspek sosial

Anak yang mengalami gangguan pertumbuhan wajah akibat mouth breathing sering merasa minder karena perubahan struktur wajah mereka. Jika masalah ini dicegah, anak dapat tumbuh dengan lebih percaya diri dalam pergaulan

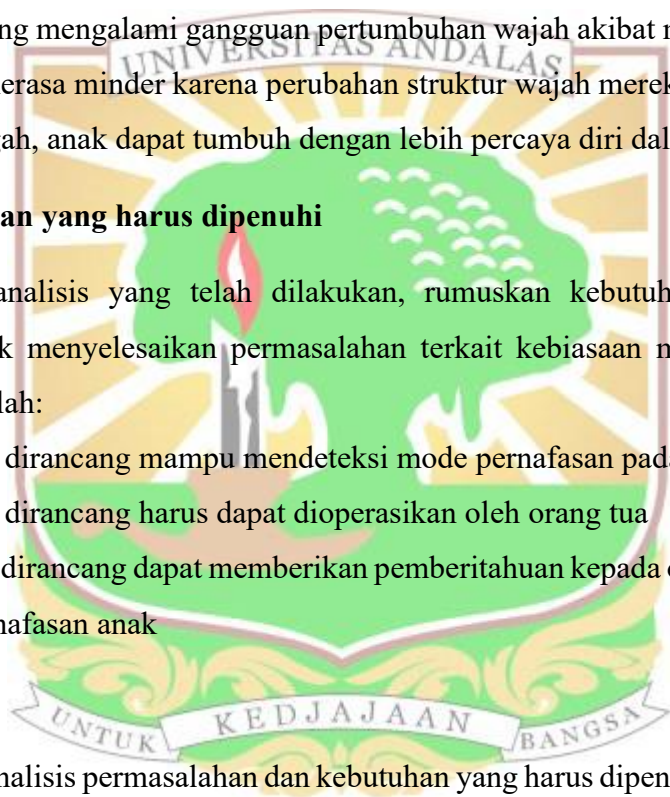
1.1.3Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, rumuskan kebutuhan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan permasalahan terkait kebiasaan mouth breathing pada anak adalah:

- Alat yang dirancang mampu mendeteksi mode pernafasan pada anak
- Alat yang dirancang harus dapat dioperasikan oleh orang tua
- Alat yang dirancang dapat memberikan pemberitahuan kepada orang tua terkait mode pernafasan anak

1.1.4Tujuan

Berdasarkan analisis permasalahan dan kebutuhan yang harus dipenuhi maka tujuan penulis adalah untuk membantu orang tua untuk dapat melakukan deteksi dini kebiasaan mouth breathing pada anak dengan merancang alat yang mampu mendeteksi mode pernafasan pada anak.



1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

a. Fitur dasar

1. *Sensing Capability*

Solusi yang ditawarkan harus dapat mendeteksi mode pernafasan pada anak. Karena salah satu indikasi untuk mendeteksi *oral bad habit* berupa kebiasaan mouth breathing adalah melalui pola pernafasan yang biasa dilakukan anak

2. *Computing capability*

Solusi yang ditawarkan harus dapat memproses data dari sensor berupa pola pernafasan apakah berasal mulut atau tidak.

3. *Notification capability*

Solusi yang dirancang harus mampu memberikan notifikasi kepada orang tua saat anak melakukan mouth breathing

b. Fitur tambahan

1. *User friendly*

Solusi yang dirancang mudah dioperasikan oleh orang tua dan nyaman digunakan oleh anak

2. *Low Power Consumption*

Solusi yang ditawarkan memiliki konsumsi daya yang rendah

3. *Monitoring capability*

Solusi yang ditawarkan dapat menampilkan mode pernafasan anak. Sehingga memudahkan orang tua untuk berkonsultasi dengan dokter jika anak terdeteksi sering melakukan mouth breathing

4. Solusi dapat direalisasikan dalam waktu 6 bulan

5. Solusi yang dirancang dilengkapi dengan kemampuan breath training sehingga mampu mendorong anak bernapas melalui hidung

6. Estimasi biaya yang digunakan dalam membuat alat tersebut lebih kecil dari Rp.6.500.000

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Klip Hidung Pintar

Solusi pertama yang diusulkan adalah klip hidung pintar yang mampu mendeteksi dan menganalisis pola pernapasan anak saat beraktivitas dalam keadaan terjaga. Klip ini menggunakan sensor aliran udara untuk mengidentifikasi apakah pernafasan berasal dari mulut atau hidung. Sensor aliran udara termal menggunakan perbedaan antara suhu udara yang dihirup dan udara sekitar untuk memperkirakan aliran udara dan mendeteksi pernapasan melalui mulut.

Sensor yang terpasang dalam klip akan mengumpulkan data pernafasan dan mengirimkannya ke mikrokontroler yang dilengkapi dengan konektivitas nirkabel[13]. Data tersebut kemudian diproses untuk menentukan apakah anak mengalami mouth breathing. Pengolahan data menggunakan salah satu algoritma *machine learning* yaitu *Multivariate Time Series Classification (MTSC)*, MTSC merupakan bentuk pembelajaran mesin di mana fitur vektor input bernilai riil dan terurut. Terdapat beberapa pendekatan MTSC. Pada kasus ini pendekatan yang digunakan adalah pendekatan berbasis shapelet.

Pendekatan ini dimulai dengan mengubah sinyal fisiologis yaitu aliran udara dari mulut dan hidung menjadi bentuk representasi yang lebih sederhana, seperti rangkaian simbol. Representasi simbolik ini memungkinkan model untuk mencari urutan-urutan pendek (subpola) yang sering muncul dalam salah satu jenis pernapasan dan jarang dalam yang lain. Subpola inilah yang kemudian digunakan sebagai dasar untuk melakukan klasifikasi. Jika sistem mendeteksi bahwa anak bernafas melalui mulut dalam jangka waktu tertentu, maka notifikasi akan dikirimkan ke aplikasi seluler orang tua untuk memberikan peringatan. Sistem juga akan menyimpan data pola pernafasan anak dalam *cloud* sehingga orang tua dapat melihat laporan pernafasan dari waktu ke waktu melalui aplikasi seluler.

1.2.2.2 Alat deteksi dini berbasis kamera

Solusi ini mengadopsi teknologi penglihatan komputer yang menggunakan kamera termal inframerah dan dipadukan dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) untuk mendeteksi kebiasaan *mouth breathing* secara visual dan tanpa kontak fisik. Kamera ini diposisikan secara strategis di area yang memungkinkan pemantauan wajah anak saat beraktivitas, seperti ketika bermain atau belajar. Kamera termal mampu merekam distribusi suhu wajah secara real-time, bahkan dalam kondisi pencahayaan minim, karena bekerja pada spektrum inframerah gelombang panjang (8–14 μm) yang tidak terlihat oleh mata manusia.

Melalui analisis video termal berbasis AI, sistem dapat secara otomatis mengidentifikasi mode pernapasan anak, yaitu apakah anak bernapas melalui hidung atau mulut. Hal ini dilakukan dengan memantau perubahan suhu di sekitar area hidung dan mulut. Seluruh proses analisis dilakukan secara lokal di perangkat menggunakan pendekatan edge computing, yang memungkinkan sistem bekerja secara cepat, efisien, dan menjaga privasi data pengguna karena tidak bergantung pada koneksi internet terus-menerus.

Hasil deteksi kemudian dikirimkan ke penyimpanan awan (*cloud*), dan dapat diakses oleh orang tua sebagai laporan riwayat pola pernapasan. Sebagai bentuk notifikasi dini, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis melalui platform perpesanan digital, apabila terdeteksi bahwa anak sedang dalam mode pernapasan mulut. Notifikasi ini mencakup informasi waktu kejadian

1.2.2.3 Alat deteksi berupa smart vest

Solusi yang diusulkan menggabungkan teknologi pemantauan pernapasan berbasis sensor non-invasif yang digunakan anak saat tidur. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi pola aliran udara dari saluran pernapasan dan gerakan dada anak untuk memantau aktivitas pernapasan secara real-time. Dengan mengenali apakah aliran udara berasal dari hidung atau mulut, serta mencocokkannya dengan gerakan pernapasan di area dada, sistem mampu mengidentifikasi pola *mouth breathing* secara akurat tanpa mengganggu aktivitas tidur anak. Metode yang digunakan adalah Metode RIP menggunakan dua sabuk yang ditempatkan di sekitar toraks dan

perut dan sensor ini memungkinkan penilaian semi-kuantitatif terhadap perubahan volume melalui pengukuran gerakan toraks dan perut.

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan kemampuan untuk mendeteksi suara dengkur sebagai salah satu indikator tambahan dari kebiasaan mouth breathing. Dengkur yang muncul saat tidur sering kali berkaitan dengan hambatan saluran napas dan menjadi tanda adanya pernapasan mulut. Data yang diperoleh dari sensor diproses secara lokal untuk mengklasifikasi jenis pernapasan yang terjadi, dan ketika terdeteksi bahwa anak bernapas melalui mulut dalam durasi yang melebihi ambang batas atau menunjukkan pola mendengkur yang berulang, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi kepada orang tua melalui aplikasi mobile atau perangkat pemantau yang terhubung. Notifikasi ini disertai informasi waktu kejadian dan durasi, memungkinkan orang tua melakukan tindak lanjut segera..

1.2.3 Analisis usulan solusi

Berikut ini merupakan analisa usulan masalah menggunakan metode *House Of Quality*:

Tabel 1 2 *House of Quality*

		▲	▲	▲	
		sensing capability	computing capability	notifikasi	jumlah
user friendly	5				
Monitoring capability	4	○	●	●	
Low power consumption	2	○	●	△	
estimasi harga dibawah 7 juta	2	●	●	△	
selesai dalam 6 bulan	5	○	○		
		43	55	24	122
		35,24%	45,08%	19,67%	
solusi 1		○	△	●	2,49
solusi 3		●	●	●	5
solusi 4		●	○	●	4,09

Keterangan :

⦿: Berhubungan erat (poin 5)

○: Berhubungan normal (poin 3)

△: Berhubungan rendah(poin 1)

$$\text{Solusi 1} = 35,24\% \times 3 + 45,08\% \times 1 + 19,67\% \times 5 = 2,49$$

$$\text{Solusi 2} = 35,24\% \times 5 + 45,08\% \times 5 + 19,67\% \times 5 = 5$$

$$\text{Solusi 3} = 35,24\% \times 5 + 45,08\% \times 3 + 19,67\% \times 5 = 4,09$$

Dari hasil analisis House of Quality (HoQ), Solusi 2 memperoleh skor tertinggi dengan nilai 5. Namun, untuk memastikan solusi yang paling optimal, dilakukan analisis lanjutan berdasarkan fitur tambahan.

Solusi 1, yaitu klip hidung pintar, memiliki keunggulan dalam hal presisi deteksi aliran udara dan pemrosesan berbasis machine learning. Namun, alat ini bersifat invasif karena langsung terpasang pada hidung anak. Hal ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan, terutama ketika digunakan saat tidur. Selain itu, penggunaan klip pada wajah anak yang masih kecil berisiko menimbulkan resistensi atau gangguan dalam pemakaian jangka panjang.

Solusi 2, yaitu deteksi dengan kamera termal berbasis AI, menunjukkan performa unggul dari segi akurasi, kenyamanan, dan teknologi non-kontak. Sistem ini mampu mendeteksi pola suhu di sekitar mulut dan hidung tanpa menyentuh tubuh anak, Teknologi edge computing memungkinkan pemrosesan lokal, menjaga privasi data dan mengurangi kebutuhan koneksi internet terus-menerus. Meski biaya perangkat keras seperti kamera termal lebih tinggi, fitur monitoring visual yang komprehensif dan otomatisasi deteksi menjadikannya solusi paling efektif secara fungsional.

Solusi 3, yaitu smart vest, menawarkan pendekatan non-invasif yang nyaman digunakan oleh anak saat tidur. Dengan kombinasi sensor gerakan dan mikrofon untuk mendeteksi dengkur, solusi ini cukup efektif dalam mengenali pola mouth breathing. Namun, smart vest memerlukan kontak langsung dengan tubuh anak serta pengelolaan data dari beberapa sensor sekaligus, yang berpotensi mengurangi efisiensi energi dan meningkatkan kompleksitas sistem.

1.2.4 Solusi yang dipilih

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *House of Quality* serta evaluasi mendalam terhadap fitur tambahan. Solusi 2, yaitu sistem deteksi kebiasaan bernafas melalui mulut menggunakan kamera termal berbasis AI, dipilih sebagai solusi terbaik yang dapat diimplementasikan. Solusi ini dipilih karena mampu memenuhi berbagai kebutuhan teknis dan non-teknis secara optimal. Kelebihan yang dimiliki oleh solusi ini dibandingkan dengan solusi lain, yaitu :

a. Keunggulan deteksi non kontak sehingga lebih nyaman digunakan

Berbeda dengan solusi lain yang bersifat invasive seperti klip hidung pintar atau *smart vest*. kamera termal menawarkan pendekatan *non-invasif* dan non-kontak, sehingga tidak mengganggu aktivitas anak.

b. Pemrosesan Lokal melalui *Edge Computing*

Kelebihan dari pemrosesan lokal adalah privasi data anak terjaga karena tidak seluruh data dikirim ke *cloud*. Selain itu, waktu respon sistem lebih cepat. Hal ini menjadikan sistem lebih stabil, efisien, dan cocok diterapkan di lingkungan rumah

c. Fitur Notifikasi Otomatis dan Integrasi Aplikasi Seluler

Sistem dilengkapi dengan kemampuan untuk mengirimkan notifikasi otomatis kepada orang tua terkait dengan mode pernafasan anak. Notifikasi ini dikirimkan ke aplikasi seluler.

d. Fleksibilitas Pengembangan Lanjutan

Sistem ini memiliki fleksibilitas tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan penambahan modul pelatihan pernapasan. Hal ini membuka peluang besar bagi peningkatan performa alat serta adaptasi terhadap kebutuhan pengguna di masa depan.

BAB II

SPESIFIKASI

2.1 Spesifikasi Produk

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan dan evaluasi alternatif solusi, dipilih solusi berupa sistem berbasis kamera termal untuk deteksi dini Mouth Breathing pada Anak. Solusi ini memanfaatkan teknologi penglihatan komputer berbasis kamera termal inframerah yang dipadukan dengan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) untuk mendeteksi kebiasaan bernafas melalui mulut secara visual dan non-kontak dibutuhkan kamera termal dengan resolusi 160x120 pixel dan frame rate > 9 fps. Serta kamera termal ini memiliki sensitivitas termal(NETD) maksimal 100 mK.

Melalui analisis video termal berbasis AI, sistem secara otomatis mendeteksi pola fluktuasi suhu di sekitar mulut yang mencerminkan aliran udara pernapasan. Jika anak terdeteksi melakukan mouth breathing maka akan muncul notifikasi pada telegram. Adapun spesifikasi utama yang dibutuhkan dari sistem ini berkaitan dengan input suara, pengolahan data dan laporan kemajuan. Spesifikasi yang diperlukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk

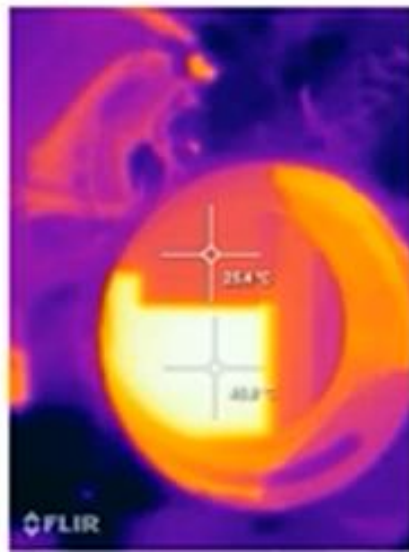
Spesifikasi
Mendeteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK
Mampu membedakan pernapasan melalui mulut atau hidung dengan akurasi $\geq 80\%$
Mampu mendeteksi kecenderungan mouth breathing berdasarkan pemantauan thermal dalam rentang waktu observasi 10 menit
Memberikan notifikasi jika terdeteksi melakukan mouth breathing

2.1.1 Mendeteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK

Kamera termal bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah gelombang panjang (*Long-Wave Infrared / LWIR*) yang dipancarkan secara alami oleh semua objek dengan suhu di atas 0 Kelvin. Tidak seperti kamera konvensional yang menangkap cahaya tampak, kamera termal mengukur radiasi panas dari permukaan objek, biasanya dalam rentang panjang gelombang 8–14 mikrometer, yang ideal untuk aplikasi medis, teknik, dan pemantauan manusia.

Sensor utama pada kamera termal, seperti microbolometer, merespons energi termal yang masuk dengan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian diolah menjadi gambar termografi, yaitu representasi visual dari distribusi suhu di permukaan objek. Area yang lebih panas akan tampak lebih terang (warna putih atau merah), sedangkan area yang lebih dingin tampak lebih gelap (biru atau ungu), tergantung pada palet warna yang digunakan. Kamera termal yang digunakan untuk sistem deteksi pernafasan mulut pada anak usia 6-9 tahun harus memenuhi kebutuhan pemantauan suhu wajah dengan akurasi yang cukup untuk membedakan area hidung dan mulut[14].

Kamera harus memiliki resolusi minimal 160×120 piksel, yang merupakan batas terendah untuk tetap memungkinkan identifikasi area wajah secara kasar. Kamera harus beroperasi di spektrum long-wave infrared (LWIR), khususnya pada rentang 8–14 mikrometer, yang sesuai untuk mendeteksi radiasi panas dari permukaan kulit manusia. Kamera juga harus memiliki sensitivitas termal (NETD) maksimal 100 miliKelvin ($0,15^{\circ}\text{C}$) agar mampu membedakan fluktuasi suhu akibat aliran napas. Untuk cakupan area, disarankan kamera memiliki field of view (FOV) minimal 50 derajat agar wajah anak tetap tertangkap dalam frame meskipun bergerak. Terakhir, kamera harus menyediakan output data berupa array suhu atau gambar termal secara kontinu (streaming) melalui antarmuka USB, SPI, atau GPIO, yang dapat diakses oleh unit pemrosesan. Bentuk gambar termal yang dimaksud terdapat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Gambar Termal[15]

Penjelasan lebih lanjut terkait dengan perbandingan komponen yang memenuhi spesifikasi tersebut terdapat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Perbandingan spesifikasi kamera termal

Spesifikasi	FLIR Lepton 3.5 [16]	FLIR Lepton 3 [17]	Modul Kamera Termal 256×192 25Hz 3.2mm [18]
Resolusi kamera	160 (H) × 120 (V)	160x120(H)	256×192
Frame rate	< 9 Hz	< 9 Hz	25 Hz
spektrum inframerah	Longwave infrared 8 to 14 μm	Longwave infrared, 8 μm to 14 μm	Longwave infrared 8~14 μm
Sensitivitas termal	<50mK	<50 mK	50mK
FOV(Field of View)	56°	50°	40°

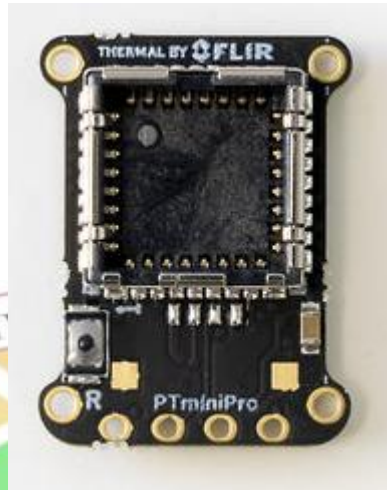
Spesifikasi	FLIR Lepton 3.5 [16]	FLIR Lepton 3 [17]	Modul Kamera Termal 256×192 25Hz 3.2mm [18]
Interface	SPI	SPI	SPI
Harga	Rp4.400.000	Rp.3.200.000	Rp.2.120.000

Berdasarkan table 2.2 dari semua komponen memenuhi standar bahkan Modul Kamera Termal 256×192 25Hz 3.2mm memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan FLIR lepton 3 dan FLIR lepton 3.5. Namun, kekurangan dari Modul Kamera Termal 256×192 25Hz 3.2mm merupakan modul handheld atau semi-kompak sehingga dari segi fleksibilitas integrasi dengan jetson nano akan lebih sulit. Selain itu dokumentasi dari komponen ini juga masih minim. Sehingga beresiko sulit dalam tahapan development sistem. Oleh karena itu, komponen kamera termal yang paling baik dari segi spesifikasi adalah FLIR lepton 3.5 karena pada kamera FLIR Lepton 3.5 terdapat fitur radiometry. bahwa radiometry adalah kemampuan kamera untuk mengukur suhu absolut per piksel dalam Celsius atau Kelvin, bukan sekadar nilai intensitas relatif. Tanpa radiometry, output kamera hanyalah gambar *grayscale*.



Gambar 2. 2 Flir Lepton 3.5[17]

Untuk mengintegrasikan Modul kamera ini dengan *SBC(Single Board Computer)* diperlukan *I/O board*, *I/O board* yang digunakan adalah *Pure Thermal Mini Pro* yang dapat dilihat pada gambar 2.2



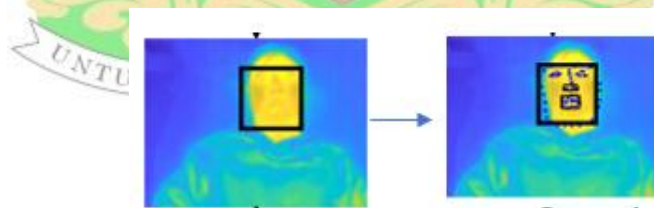
Gambar 2. 3 I/O board modul kamera[17]

2.1.2 Mampu membedakan pernapasan melalui mulut atau hidung dengan akurasi >80%

Berdasarkan kebutuhan ini, yaitu untuk mengenali suhu anak dengan akurasi lebih dari 80%, pemilihan algoritma menjadi sangat penting. Untuk menganalisis aliran udara pernafasan secara akurat, sistem perlu mengidentifikasi dan melokalisasi area anatomi wajah yang relevan, yaitu area hidung dan mulut, pada setiap frame termal. Tahap tersebut dilakukan menggunakan *MediaPipe Face Landmarker* dari Google, yaitu framework machine learning *open-source* yang menyediakan pipeline deteksi landmark wajah berbasis *deep learning* secara real-time. Media pipe digunakan karena sistem ini membutuhkan framework yang dapat mendeteksi wajah khususnya area hidung dan mulut dari frame termal 160x120 pixel. Serta mampu mengidentifikasi 468 titik landmark wajah 3D secara presisi dan langsung tanpa memerlukan praproses tambahan seperti *resizing* atau plotting koordinat manual. MediaPipe Face Landmarker bekerja dalam dua tahap secara internal. Tahap pertama menggunakan model *BlazeFace* untuk mendeteksi keberadaan dan posisi wajah dalam frame. *BlazeFace* memproses frame input berukuran 128x128 piksel dan menghasilkan bounding box lokasi wajah dalam

setiap frame. Tahap kedua menggunakan model regresi neural network untuk memetakan 468 titik *landmark* wajah dalam koordinat tiga dimensi yang ternormalisasi. Pendekatan ini tidak memerlukan proses training model secara mandiri karena model telah dilatih sebelumnya pada dataset wajah berskala besar oleh Google, sehingga dapat langsung digunakan (*pre-trained*) pada sistem ini.[11].

Karena frame termal dari FLIR Lepton 3.5 berformat *grayscale* (GRAY16), sementara MediaPipe memerlukan input citra RGB 8-bit, dilakukan dua tahap konversi sebelum frame dikirimkan ke MediaPipe. Pertama, frame GRAY16 dinormalisasi ke rentang 0–255. Kedua, frame grayscale 8-bit dikonversi menjadi citra pseudo-RGB dengan cara menduplikasi *channel grayscale* ke tiga *channel*. Kemudian, frame tersebut ditingkatkan kontrasnya menggunakan teknik CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dengan nilai clip limit 2,0 dan ukuran tile grid 8×8 piksel untuk memperjelas tepi fitur wajah pada resolusi rendah 160×120 piksel. Dari 478 titik landmark yang dihasilkan MediaPipe, hanya tiga titik yang digunakan sebagai acuan utama dalam sistem ini: *landmark nose tip* (ujung hidung), *landmark upper lip* (bibir atas), dan *landmark lower lip* (bibir bawah). Koordinat dalam satuan ternormalisasi [0,1] dikonversi ke koordinat piksel dengan mengalikan nilai x terhadap lebar frame dan nilai y terhadap tinggi frame. Berdasarkan koordinat tersebut, sistem membentuk dua *Region of Interest (ROI)*. [19].



Gambar 2. 4 Face detection[19]

ROI yang digunakan untuk input pada system Adalah ROI area hidung dan mulut yang merupakan bagian dari ROI wajah yang sebelumnya dideteksi seperti yang terlihat pada gambar 2.3.

Setelah nilai ROI yang ideal didapatkan Langkah selanjutnya adalah ekstraksi nilai rata-rata suhu dari ROI menggunakan persamaan 2.1 [11]

$$\mu_{n,k} = \frac{1}{S(V_n)} \sum_{(p,q) \in V_n} i(p, q, k) \quad (2.1)$$

$$\mu_{m,k} = \frac{1}{S(V_m)} \sum_{(p,q) \in V_m} i(p, q, k)$$

Persamaan ini merepresentasikan sinyal pernapasan dari video termal dengan mengambil suhu rata-rata (mean) dari piksel dalam ROI-ROI hidung (V_n) dan mulut (V_m) pada frame ke- k . Dimana $i(p, q)$ merupakan representasi pixel di posisi p, q . Setelah nilai rata-rata suhu didapatkan, Nilai rata-rata suhu yang didapatkan ini kemudian menjadi input untuk proses *EMA* (*exponential moving average*). *EMA* adalah filter rata-rata berbobot yang memberikan bobot lebih besar pada data terbaru dibandingkan data lama. *EMA* digunakan untuk memperhalus nilai rata-rata suhu ROI per frame. Nilai *EMA* ditentukan melalui persamaan 2.2

$$EMA_{nose} = \alpha \cdot \mu_{n,k} + (1 - \alpha) \cdot EMA_{nose}[n - 1]$$

$$EMA_{mouth} = \alpha \cdot \mu_{m,k} + (1 - \alpha) \cdot EMA_{mouth}[n - 1]$$

Keterangan α adalah konstanta pengurangan *noise*, $\mu_{m,k}$ adalah standar deviasi mulut, $\mu_{n,k}$ adalah standar deviasi area hidung. Langkah selanjutnya adalah menentukan standar deviasi suhu area mulut dan hidung menggunakan persamaan 2.3

$$\sigma_{buffer} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

di mana x_i adalah nilai *EMA* (*Exponential Moving Average*) ke- i dari buffer, $\bar{x}$ adalah rata-rata buffer. Untuk masing-masing ROI yaitu area hidung dan mulut menghasilkan nilai standar deviasi masing-masing yaitu std nose dan std mouth dengan menggunakan persamaan 2.4

$$\sigma_{nose} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EMA_{i nose} - \overline{EMA nose})^2}$$

$$\sigma_{mouth} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (EMA_{i mouth} - \overline{EMA mouth})^2} \quad (2.4)$$

Nilai N merupakan ukuran buffer yang menampung EMA, dan adalah nilai EMA suhu ROI pada frame ke-*i* dalam buffer. Kemudian untuk membedakan antara pernafasan mulut dan persamaan hidung terdapat beberapa metode yang bisa digunakan seperti yang terdapat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan algoritma klasifikasi

	<i>Rule-Based Classification</i> [11]	<i>Convolutional Neural Network</i> [20]
Deskripsi	<i>Rule-Based Classification</i> merupakan metode klasifikasi berbasis logika sederhana yang menggunakan aturan atau ambang batas (<i>threshold</i>) tertentu untuk menentukan output dari sebuah sistem. Dalam konteks sistem deteksi mode pernafasan berbasis citra termal, pendekatan ini memanfaatkan perbedaan pola suhu	CNN digunakan untuk mengklasifikasikan pola pernafasan berdasarkan sinyal suhu dari area hidung dan mulut yang telah diekstraksi dari citra termal. CNN bekerja dengan cara mengekstraksi fitur secara otomatis melalui operasi konvolusi, yang memungkinkan jaringan mendeteksi karakteristik seperti pola fluktuasi suhu dari

	<i>Rule-Based Classification</i> [11]	<i>Convolutional Neural Network</i> [20]
	antara area hidung dan mulut sebagai dasar klasifikasi. Sistem dengan kamera beresolusi 160x120 piksel pada kondisi nyata berkisar antara 80%–85%.	napas tanpa perlu perancangan fitur secara manual. Tingkat akurasi antara 88% hingga 91%
Kelebihan	Metode ini tidak memerlukan pelatihan model dan sangat efisien untuk sistem real-time dengan keterbatasan komputasi. Meskipun sederhana, metode ini cukup efektif dalam kondisi terkontrol dengan ROI yang stabil. Estimasi akurasi mencapai 80–85% pada sistem dengan kamera termal 160x120 piksel.	CNN mampu belajar dari fluktuasi suhu untuk membedakan pola pernapasan secara otomatis tanpa fitur buatan
Kekurangan	keterbatasannya dalam menghadapi variasi biologis individu.	Kebutuhan akan dataset yang cukup besar untuk pelatihan, komputasi yang lebih tinggi dan membutuhkan resolusi

	<i>Rule-Based Classification</i> [11]	<i>Convolutional Neural Network</i> [20]
		kamera termal yang lebih tinggi. Selain kamera termal diperlukan juga webcam.

Tabel 2.3 diatas membahas terkait pilihan metode untuk melakukan klaisifikasi mode pernafasan. Berdasarkan kebutuhan sistem untuk dapat melakukan klasifikasi pernafasan anak dengan akurasi lebih dari 80%, pemilihan algoritma pengenalan suara menjadi aspek yang penting. Berdasarkan analisis yang dilakukan, algoritma yang dipilih adalah *Rule-Based Classification*. Karena algoritma ini dapat melaukan klasifikasi dengan menggunakan perbedaan pola suhu antara area hidung dan mulut, berdasarkan nilai tresshold yang ditetapkan, sehingga masih dapat diterapkan pada kamera termal dengan resolusi 160 x120 pixel. Selain itu, tidak diperlukan perangkat berupa kamera tambahan untuk melakukan deteksi pernafasan mulut.

Proses klasifikasi dilakukan dengan menghitung nilai standar deviasi dari buffer sinyal suhu ROI hidung dan ROI mulut. Selanjutnya, dihitung selisih antara kedua nilai standar deviasi hidung dan mulut. Jika nilai standar deviasi mulut melebihi nilai *threshold* yang ditetapkan maka dapat dikategorikan sebagai *mouth breathing*. Namun, Jika nilai standar deviasi hidung yang lebih dominan maka dikategorikan sebagai *Nose breathing*.

2.1.3 Mampu mendeteksi kecendrungan mouth breathing berdasarkan pemantauan Thermal dalam rentang waktu 10 menit.

Dalam menentukan komponen prosesor yang sesuai untuk kebutuhan sistem deteksi mouth breathing pada anak dengan kemampuan klasifikasi pernafasan mulut atau pernafasan hidung dengan akurasi $>80\%$, dilakukan perbandingan beberapa jenis prosesor yang umum digunakan dalam aplikasi embedded dan pemrosesan citra termal. Pemilihan prosesor yang tepat sangat penting untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara efisien tanpa mengalami keterlambatan

atau kendala performa yang berlebihan. Terdapat tiga prosesor yang bisa memenuhi kebutuhan ini, yaitu Raspberry Pi 5, NVIDIA Jetson Nano, dan Radxa Rock 5B.

Berdasarkan perbandingan pada Tabel 2.4, Raspberry Pi 5 dipilih sebagai unit pemrosesan utama pada sistem ini. Keputusan ini merupakan konsekuensi langsung dari perubahan metode deteksi landmark wajah: karena sistem menggunakan MediaPipe Face Mesh yang berbasis model TFLite dengan akselerasi CPU XNNPACK delegate, kebutuhan akan akselerasi GPU seperti yang dimiliki NVIDIA Jetson Nano menjadi tidak diperlukan.

Tabel 2.4 Perbandingan processor

Fitur	Raspberry Pi 5 [21]	NVIDIA Jetson Nano [22]	Radxa Rock 5B [23]
CPU	Cortex-A72 (4x 1.5GHz)	Cortex-A57 (4x 1.43GHz)	Octa-core Cortex- A76/A55
GPU	Broadcom VideoCore VI	128-core Maxwell GPU (CUDA)	Mali-G610
RAM	2–8 GB LPDDR4	4 GB LPDDR4	4–16 GB LPDDR4X
Konektivitas Kamera Termal	CSI, USB	CSI, USB	MIPI CSI, USB
Power Consumption	3.4W - 7.6W	5W - 10W	24W-30W
AI accelerator	Tidak ada	CUDA (128- core GPU)	NPU (6 TOPS)
Kemampuan proses citra termal	Mampu melakukan pemrosesan citra termal.	Baik(mampu memproses realtime object/tracking temperatur)	Sangat baik karena dilengkapi dengan AI

			hybrid dan multi ROI
Harga	Rp. 2.350.000	Rp. 3.712.000	Rp.8.000.000

Raspberry Pi 5 dengan prosesor ARM Cortex-A76 quad-core berkecepatan 2,4 GHz dan RAM 8 GB LPDDR4X terbukti mampu menjalankan pipeline MediaPipe pada kecepatan yang memadai ($\geq 8,7$ FPS) yang sesuai dengan frame rate kamera FLIR Lepton 3.5. Selain kemampuan komputasi yang mencukupi, Raspberry Pi 5 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan Jetson Nano untuk konteks sistem ini yang membutuhkan ekosistem driver Linux yang lebih matang dan stabil untuk integrasi USB UVC (antarmuka PureThermal Mini Pro), dokumentasi komunitas yang sangat luas, konsumsi daya yang lebih rendah (sekitar 5 Watt saat idle dibandingkan Jetson Nano yang mencapai 10 Watt), serta dukungan konektivitas yang lebih lengkap. Hal-hal ini menjadikan Raspberry Pi 5 lebih cocok untuk sistem pemantauan jangka panjang di lingkungan rumah[22].



Gambar 2. 5 Raspberry Pi 5[22]

2.1.4 Memberikan notifikasi jika terdeteksi melakukan pernafasan mulut

Salah satu kebutuhan yang penting untuk dipenuhi pada sistem deteksi mouth breathing ini adalah notifikasi yang menandakan bahwa anak melakukan pernafasan mulut, sehingga dapat mencegah bernafas melalui mulut menjadi kebiasaan anak tersebut. Terdapat beberapa pilihan media penampil aplikasi, yaitu web, notifikasi ke aplikasi dan notifikasi ke aplikasi pesan. Berdasarkan Analisa

kebutuhan notifikasi untuk sistem deteksi dini *mouth breathing* yang dijelaskan pada tabel 2.5 .Notifikasi dengan metode Aplikasi pesan (telegram) karena pernafsan mulut dapat diketahui dengan lebih cepat karena metode ini Lebih cepat dari segi pengiriman notifikasi, selain itu juga tidak memerlukan biaya tambahan dari segi *development software*.

Tabel 2.5 Notifikasi sistem

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Web [24]	Dapat menampilkan history serta bisa diakses dari mana saja	Membutuhkan biaya development tambahan untuk keperluan hosting
Aplikasi mobile[24]	Notifikasi dapat langsung terkirim pada ponsel orang tua	Perlu pengembangan dan maintenance app dan memerlukan set-up yang lebih kompleks
Aplikasi pesan (telegram) [25]	Lebih cepat dari segi pengiriman notifikasi selain itu juga kompatibel dengan multi platform.	Kurang fleksibel untuk visualisasi histori data

2.2 Verifikasi

Verifikasi sistem dilakukan untuk memastikan setiap spesifikasi sistem telah berfungsi sesuai dengan perencanaan. Pengujian melibatkan evaluasi komponen berdasarkan spesifikasi, kemampuan deteksi objek, kemampuan menganalisis aliran udara untuk membedakan pernapasan melalui mulut atau hidung dan kemampuan memberikan notifikasi jika adanya pernafasan mulut. Prosedur pengujian dan metode pengukuran untuk setiap spesifikasi dapat dilihat pada tabel 2.6 berikut

Tabel 2.6 Verifikasi Perangkat

No	Spesifikasi sistem	Rincian perangkat	Prosedur pengujian	Metode Pengukuran
1.	Mendeteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK	Flir lepton 3.5	Resolusi citra diverifikasi melalui pemeriksaan dimensi frame keluaran kamera (160×120 piksel). Untuk NETD: kamera dan Raspberry Pi dinyalakan dan dibiarkan warm-up (periode pemanasan hingga sensor mencapai kesetimbangan termal internal) selama 20 menit. Target uji berupa tangkai tripod berwarna hitam, sebagai permukaan quasi-blackbody	Nilai NETD dihitung dari standar deviasi temporal suhu setiap piksel dalam ROI sepanjang 100 frame, kemudian dirata-ratakan menjadi satu nilai NETD dalam satuan mK. Hasil NETD empiris dibandingkan terhadap ambang spesifikasi <100 mK

No	Spesifikasi sistem	Rincian perangkat	Prosedur pengujian	Metode Pengukuran
			(permukaan dengan emisivitas tinggi yang mendekati sifat benda hitam sempurna), ditempatkan pada jarak tetap 10–15 cm di depan kamera dan dibiarkan diam tanpa disentuh selama sesi pengujian. Sebanyak 100 frame radiometrik berurutan diambil menggunakan pipeline akuisisi yang sama dengan sistem deteksi real-time. <i>Region of interest</i> atau ROI (area spesifik pada citra yang dipilih	

N o	Spesifikasi sistem	Rincian perangkat	Prosedur pengujian	Metode Pengukuran
			untuk dianalisis) ditentukan pada area homogen (seragam) di tengah frame, menghindari tepi struktural objek	
2.	Menganalisis aliran udara untuk membedakan pernapasan melalui mulut atau hidung dengan akurasi $\geq 80\%$	Algoritma Rule-Based Classification	Pengujian dilakukan dengan merekam citra termal wajah subjek saat bernapas melalui hidung dan saat mensimulasikan pernapasan melalui mulut secara terpisah. Setiap sesi berlangsung selama dua menit. Ground truth dikonfirmasi kepada dokter secara langsung	Performa klasifikasi dievaluasi menggunakan confusion matrix yang membandingkan hasil prediksi sistem terhadap label ground truth. Metrik yang dihitung meliputi akurasi, sensitifitas yang mengukur kemampuan sistem mendeteksi mouth breathing yang sesungguhnya, dan specificity

No	Spesifikasi sistem	Rincian perangkat	Prosedur pengujian	Metode Pengukuran
				yang mengukur kemampuan sistem mengidentifikasi nasal breathing dengan benar.
3.	Mendeteksi kecenderungan mouth breathing dalam rentang 10 menit	Raspberry pi 5	Pengujian sistem dilakukan dengan merekam citra termal wajah subjek menggunakan kamera FLIR Lepton 3.5 selama 10 menit penuh per sesi. Selama perekaman, sistem menjalankan algoritma deteksi napas di Raspberry Pi 5. Ground truth	Sistem dinyatakan berhasil apabila $\geq 70\%$ dari total window klasifikasi dalam 10 menit konsisten dengan label ground truth yang dikonfirmasi observer.

N o	Spesifikasi sistem	Rincian perangkat	Prosedur pengujian	Metode Pengukuran
			untuk keseluruhan sesi dicatat oleh observer secara paralel.	
4.	Memberikan notifikasi jika terdeteksi melakukan mouth breathing	Aplikasi Telegram	"Pengujian dilakukan dengan menginstruksikan subjek bernapas melalui mulut selama 3 menit per sesi. Setelah sistem mengonfirmasi label stabil <i>mouth breathing</i> , atau nose breathing diamati apakah notifikasi Telegram berhasil terkirim dan diterima.	Salah satu dari dua jenis notifikasi terkirim yaitu notifikasi nose breathing dan notifikasi mouth breathing sesuai dengan mode pernafasan yang dilakukan oleh subjek.

2.3 Perencanaan Pasar

2.3.1 Perkiraan Biaya

Dalam mengimplementasikan solusi yang diharapkan, diperlukan sejumlah komponen untuk membangun sistem tersebut. Berikut merupakan estimasi biaya yang diperlukan untuk pengembangan sistem.

1. Product Cost

Product Cost atau biaya produk adalah biaya yang diperlukan untuk pembuatan, produksi, atau manufaktur sistem dari solusi produk yang diusulkan. Dalam menentukan apakah harga jual sudah tepat, perlu dipertimbangkan biaya produksi agar keuntungan yang diharapkan dapat tercapai. Berikut ini adalah tabel biaya produk untuk sistem yang akan dibuat.

Tabel 2.7 Product cost

No	Perangkat	Jumlah	Harga satuan	Estimasi harga
1	Raspberry pi 5	1	Rp. 2.350.000	Rp. 2.350.000
2	FLIR Lepton 3.5 + I/O board	1	Rp.4.400.000	Rp.4.400.000
4.	Adaptor 5V 4A	1	Rp.150.000	Rp.150.000
5.	Case alat		Rp. 150.000	Rp.150.000
Total				Rp.7.050.000

2. Development cost

Development cost atau biaya pengembangan adalah biaya yang dikeluarkan untuk merancang, mengembangkan, dan memproduksi produk solusi yang diusulkan. Ini mencakup gaji para engineer dan biaya yang terkait dengan kebutuhan aplikasi perangkat lunak untuk alat tersebut. Tabel 2.8 menjelaskan biaya pengembangan.

Tabel 2 8 Development Cost

No	Jenis	Jumlah	Harga Satuan	Estimasi harga
1	pengujian	1	Rp.150.000	Rp.150.000

2.	Fee engineer	1	Rp.1.000.000	Rp.1.000.000
Total				Rp.1.150.000

2.3.2 Analisis Finansial

2.3.2.1 Analisis SWOT

Untuk menganalisis kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman dari sistem yang akan dirancang, kita perlu melakukan analisis SWOT (*strengths, weaknesses, opportunities, and threats*). Tujuan dari analisis ini adalah untuk menyusun strategi dengan memahami berbagai faktor internal dan eksternal yang bisa mempengaruhi keberhasilan atau kegagalan dalam pengembangan dan pelaksanaan proyek ini. Berikut adalah analisis SWOT untuk proyek yang akan kita kembangkan.

1. *Strength* (kekuatan)
 - a. Sistem ini bersifat non-invasif sehingga lebih nyaman digunakan oleh anak dibandingkan solusi lain.
 - b. Adanya notifikasi memudahkan orang tua untuk mengetahui apakah anaknya sering melakukan mouth breathing.
2. *Weaknesses*
 - a. Biaya yang dibutuhkan untuk mengimplementasikan sistem terbilang mahal
 - b. Sistem harus digunakan dengan jarak 10-20 cm meter dari anak dan anak dalam posisi menghadap kamera
3. *opportunities*

Terdapat peluang untuk bekerja sama dengan tenaga medis, sehingga lebih memudahkan pencegahan maloklusi

4. *Threats*

Adanya kompetitor yang membuat sistem serupa namun menggunakan komponen dengan kualitas lebih baik, sehingga memungkinkan akurasi yang lebih baik pula.

2.3.2.2 Analisis Kelayakan Finansial

Untuk menilai keuntungan atau risiko dari produk yang akan dikembangkan, dilakukan analisis kelayakan finansial atau pemasaran. Dalam analisis ini, perlu ditentukan terlebih dahulu proyeksi penjualan, biaya total, dan ROI (Return on Investment) dalam kisaran 10-25%. Berikut analisis kelayakan finansial dari proyek ini.

1. Return On Investment (ROI)

Berikut adalah perhitungan untuk mencari nilai ROI dari sistem yang akan dibuat menggunakan prinsip persamaan 2.7

$$ROI = \frac{(\text{Total penjualan} - \text{biaya investasi})}{\text{biaya investasi}} \times 100 \% \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{product cost} + \text{development cost} \\ &= 7.050.000 + 1.150.000 = 8.200.000 \end{aligned}$$

$$\text{Proyeksi penjualan 1 tahun} = 4 \text{ alat}$$

$$ROI = 17\%$$

$$\text{Biaya investasi} = 8.200.000 \times 4 = 32.800.000$$

Dari rumus ROI diatas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$0.15 = \frac{(4p - 32.800.000)}{32.800.000} \times 100 \%$$

$$0,17 \times 32.800.000 = 4p - 32.800.000$$

$$\frac{(5.824.000 + 32.800.000)}{4} = p$$

$$9.150.000 = p$$

Maka harga jual 1 produk adalah Rp. 9.150.000, dengan keuntungan untuk 1 produk adalah Rp. 9.150.000 – Rp.8.200.000 = Rp.950.000

2. Net Present Value (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah metode untuk menilai proyek dengan mengukur nilai keuangannya. NPV sering digunakan dalam manajemen keuangan dan pengambilan keputusan investasi. Berikut perhitungan untuk mendapatkan NPV menggunakan persamaan 2.8 :

$$NPV = \sum_{t=1}^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2.8)$$

Keterangan :

NPV = Net Present Value (dalam Rupiah)

CF_t = Arus kas per tahun pada periode t

(arus kas dihitung dari harga jual – total biaya)

C₀ = Nilai investasi awal pada tahun ke 0 (Rp)

r = Suku bunga atau discount rate (%) = 4%

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \frac{950.000 \times 5}{1.04} + \frac{950.000 \times 5}{1.04^2} + \frac{950.000 \times 5}{1.04^3} + \frac{950.000 \times 5}{1.04^4} \\ &\quad + \frac{950.000 \times 5}{1.04^5} - 32.800.000 \\ &= \text{Rp. } 2.100.000 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai NPV untuk keuntungan setelah 5 tahun adalah 2.100.000. Berdasarkan nilai NPV tersebut dapat disimpulkan bahwa proyek ini layak karena menguntungkan.

3. B/C Ratio

B/C atau *Benefit Cost Ratio* merupakan perhitungan yang digunakan untuk menentukan perbandingan dari total pendapatan dengan total biaya dari proyek yang sedang dirancang. Nilai B/C dari proyek ini dapat dihitung dengan rumus berikut

B/C Ratio = Total pendapatan / Total biaya

B/C Ratio = 9.150.000/8.200.000

B/C Ratio = 1.14

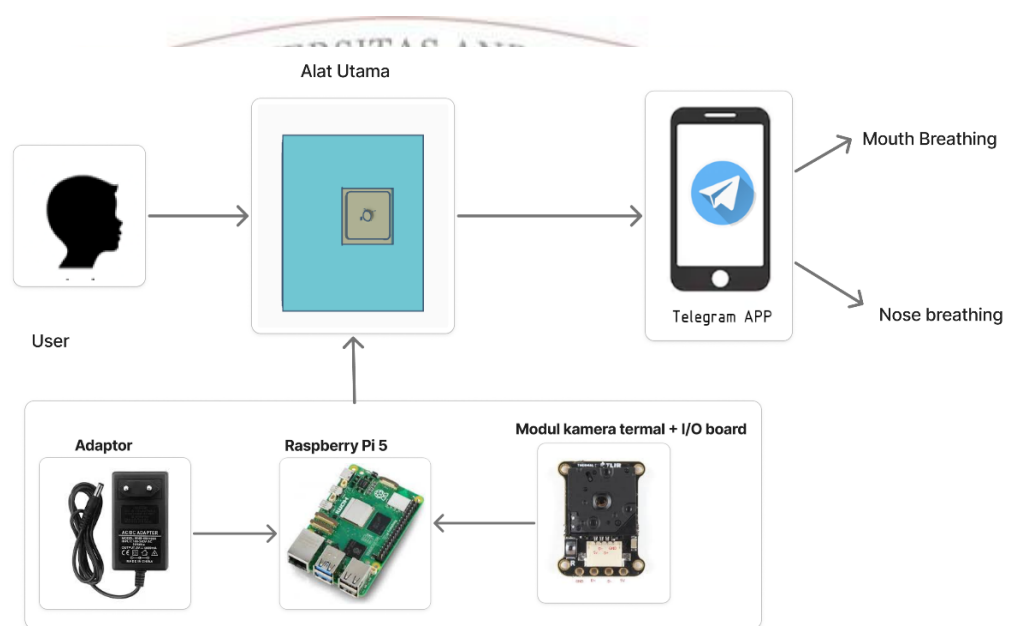
Dari perhitungan di atas, didapatkan total perbandingan antara total pendapatan dengan total biaya sebesar 1.14, alat ini bisa dikatakan layak karena B/C Rasio .

BAB III

RANCANGAN

3.1 Rancangan Umum Sistem

Rancangan umum sistem diperlukan untuk memberikan gambaran sistem keseluruhan secara umum. Sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu kamera termal, Raspberry pi 5 yang terintegrasi dengan bot telegram untuk menampilkan notifikasi. Rancangan umum sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



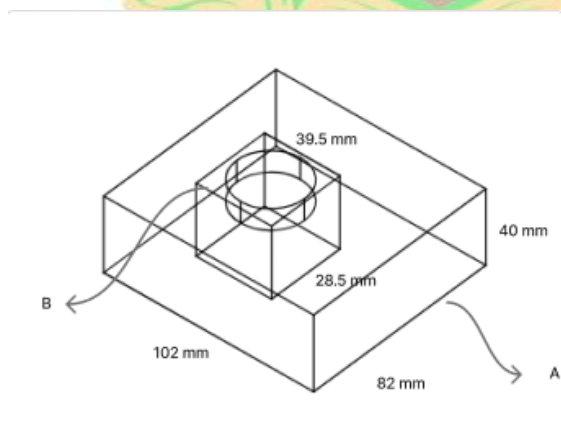
Gambar 3. 1 Rancangan Umum sistem

Gambar 3.1 merupakan Rancangan umum sistem deteksi mouth breathing. Gambar tersebut menggambarkan keseluruhan arsitektur sistem yang mencakup komponen-komponen hardware dan software yang saling terhubung. Proses dimulai Ketika anak menghadap ke alat utama selama 10 menit kemudian sistem akan memproses apakah anak melakukan pernafasan mulut atau tidak. Kamera thermal menangkap thermal imaging pada anak khususnya pada bagian wajah. Kemudian proses deteksi adalah akuisisi data suhu wajah menggunakan kamera termal inframerah yang diposisikan di depan wajah anak dengan jarak optimal 30–40 cm. Kamera termal yang digunakan memiliki resolusi minimal 160×120 piksel dengan sensitivitas termal (NETD) di bawah 100 mK, memungkinkan deteksi fluktuasi suhu akibat

aliran napas. Data yang diperoleh berupa video termal kemudian dianalisis frame demi frame untuk mendeteksi pola pernapasan[11].

Deteksi wajah dan lokalisasi area pernapasan dilakukan menggunakan *MediaPipe Face Mesh* dari Google, yang mendeteksi 478 titik *landmark* wajah dalam satu tahap inferensi tanpa proses *training* tambahan. Karena frame termal dari FLIR Lepton 3.5 berformat GRAY16 (16-bit), dilakukan konversi ke pseudo-RGB melalui normalisasi persentil p2–p98 dan peningkatan kontras menggunakan CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) sebelum frame dikirimkan ke MediaPipe. Dari 478 *landmark* yang tersedia, sistem menggunakan indeks 1, 2, 4, 98, 327, dan 168 sebagai acuan ROI hidung, serta indeks 0, 13, 14, 17, 78, dan 308 sebagai acuan ROI mulut[11].

Dari ROI yang telah ditentukan, sistem mengekstraksi nilai suhu rata-rata per frame kemudian diperhalus menggunakan *Exponential Moving Average* (EMA). Nilai EMA yang terkumpul dalam *rolling buffer* digunakan untuk menghitung standar deviasi suhu (σ_{nose} dan σ_{mouth}). Proses klasifikasi mode pernapasan dilakukan berdasarkan dua kondisi, yaitu jika nilai standar deviasi mulut lebih besar dibandingkan threshold yang ditetapkan dan nilai rasio nya lebih besar ddari 1,0 maka system mengklasifikasikan kondisi ini sebagai *mouth breathing*. Hasil klasifikasi per frame dikumpulkan dalam *voting buffer* notifikasi akan muncul berdasarkan status dominan yang ada pada *voting buffer* tersebut.



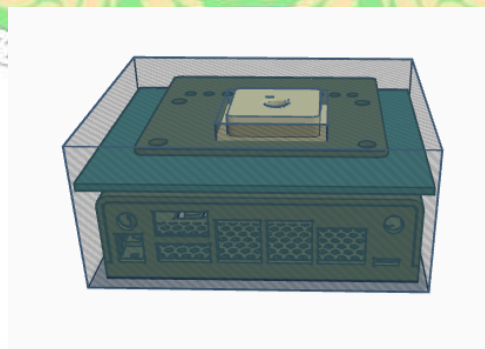
Gambar 3. 2 Gambar Teknik tampak isometrik

Tabel 3. 1 keterangan komponen

simbol	keterangan
A	Raspi 5+box
B	Flir lepton 3.5+ I/o Board

Gambar 3.2 di atas merupakan gambaran sistem alat dalam bentuk gambar Teknik tampak SE (Southeast) isometric. Penjelasan singkat terkait nama komponen yang diberi symbol A dan B ada pada tabel 3.1 Tampak isometrik adalah gambar tiga dimensi yang dibuat dengan sudut tertentu untuk memberikan pandangan menyeluruh dari sebuah objek. SE atau Southeast (Tenggara) merujuk pada arah pandang dari sudut Tenggara.

Gambar 3.2 menunjukkan rancangan sistem pendeteksi suhu berbasis kamera termal yang bersifat portabel. Sistem ini terdiri atas dua komponen utama yang ditandai dengan simbol 'A' dan 'B'. Dimensi keseluruhan dari sistem adalah panjang 102 mm, lebar 82 mm, dan tinggi 40 mm. Bagian yang diberi simbol 'A' merepresentasikan unit Raspi 5 sebagai inti pemrosesan sistem. Letaknya berada pada bagian sisi utama dari struktur, dengan panjang 102 mm dan lebar 82 mm, memberikan ruang yang cukup untuk integrasi modul pemrosesan serta konektivitas perangkat lainnya. Bagian yang ditandai dengan 'B' adalah lokasi pemasangan kamera termal FLIR Lepton 3.5 beserta board antarmukanya. Komponen ini diposisikan pada bagian atas sistem dengan ukuran ruang sebesar 39,5 mm × 28,5 mm. Penempatan ini dirancang agar lensa kamera termal dapat langsung menghadap objek target tanpa hambatan, serta memberikan visibilitas maksimal dalam akuisisi citra termal. Lubang lingkaran di tengah mewakili jalur pandang kamera termal.



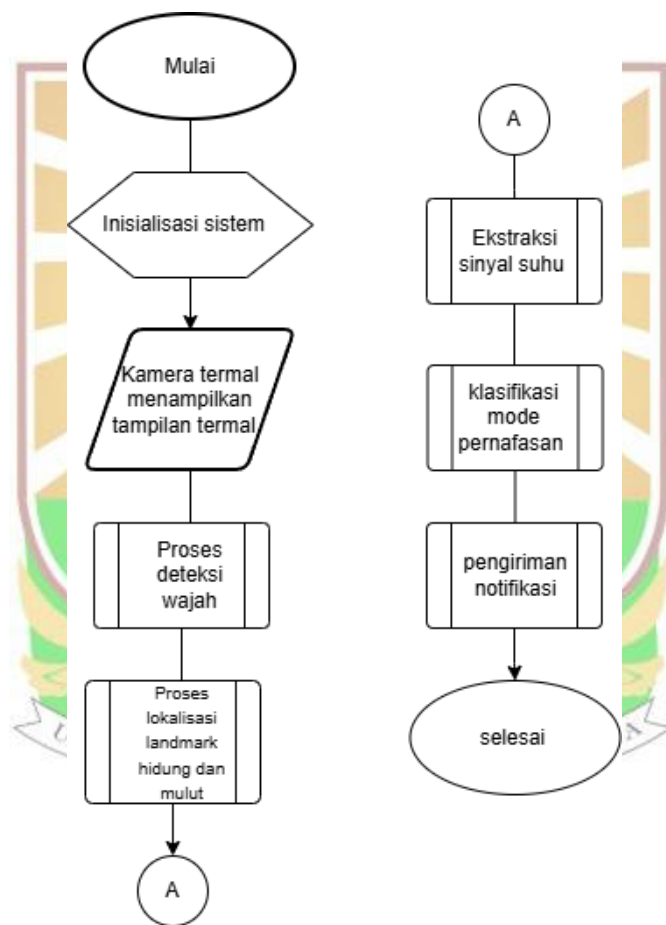
Gambar 3. 3 Tampilan 3D alat

Gambar 3.3 menyajikan tampilan tiga dimensi dari alat yang telah dirancang. Setiap bagian dari alat ditampilkan dalam bentuk 3D guna memberikan gambaran yang

lebih jelas mengenai struktur serta fungsinya masing-masing. Selain itu, visualisasi ini digunakan untuk menyimulasikan tampilan nyata alat dalam bentuk tiga dimensi.

3.2 Rancangan Proses

Rancangan proses sistem bertujuan untuk melihat keterkaitan yang ada pada keseluruhan sistem mulai dari input, proses hingga output dihasilkan sesuai dengan fungsionalitas sistem. Alur kerja dari sistem secara umum dapat dilihat pada *flowchart* berikut



Gambar 3. 4 Flowchart rancangan umum

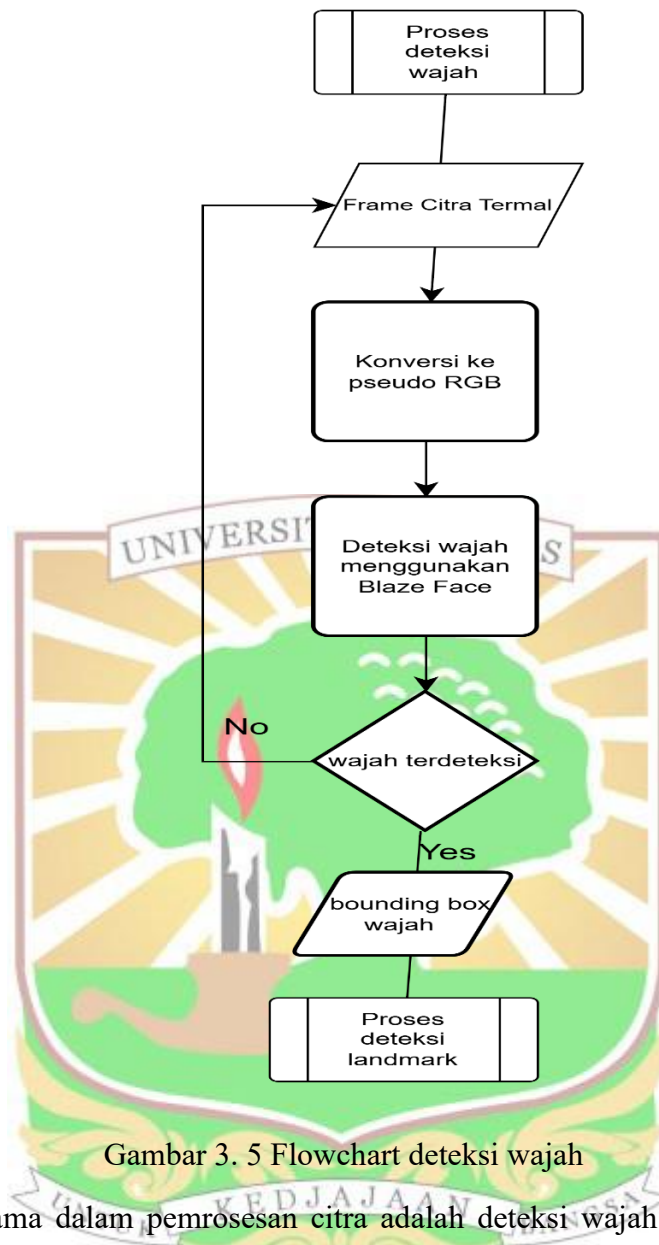
Gambar 3.5 menampilkan flowchart yang menggambarkan alur proses secara umum dalam sistem yang dirancang. Proses sistem dimulai dengan inisialisasi sistem yaitu tahapan menyiapkan environment sistem mulai dari library yang digunakan, pengaktifan koneksi antara kamera dengan boardnya, pemuatan model serta konfigurasi output berupa bot telegram. Setelah proses inisialisasi selesai,

kamera termal mulai merekam video wajah subjek secara real-time. Setiap frame video termal yang ditangkap berisi informasi suhu dari area wajah anak, dan data ini digunakan sebagai input untuk tahap selanjutnya.

Selanjutnya, sistem melakukan proses deteksi wajah untuk mengidentifikasi keberadaan wajah subjek dalam setiap frame. Deteksi ini menggunakan Mediapipe Face Mesh sebagai framework. Output dari proses ini adalah terdeteksi ada atau tidaknya area wajah pada setiap frame yang ditangkap oleh kamera. Setelah area wajah berhasil dideteksi, sistem mengekstrak titik-titik landmark penting pada wajah, seperti pusat hidung dan mulut, dengan menggunakan model internal yang terdapat pada Mediapipe Face Mesh. Output dari proses ini adalah landmark di titik hidung, kedua lubang hidung, dan landmark sekitar area mulut. Dari ROI yang telah ditentukan, sistem mengekstrak sinyal suhu dari area hidung dan mulut dalam bentuk deret waktu. Sinyal ini kemudian dianalisis secara frekuensi dan energi untuk mendeteksi pola pernapasan. Proses klasifikasi mode pernapasan dilakukan berdasarkan perbandingan energi spektral antara area hidung dan mulut. Dengan menggunakan nilai ambang tertentu, sistem dapat menentukan apakah subjek bernapas melalui hidung, mulut. Hasil klasifikasi ini kemudian digunakan untuk mengirimkan notifikasi kepada pihak terkait, seperti orang tua atau tenaga medis, melalui saluran komunikasi seperti Telegram

3.2.1 Proses Deteksi wajah

Pada sub proses ini dijelaskan Langkah rinci terkait proses deteksi wajah . Tujuan dari proses ini adalah untuk mengklasifikasikan apakah area tersebut wajah atau bukan.



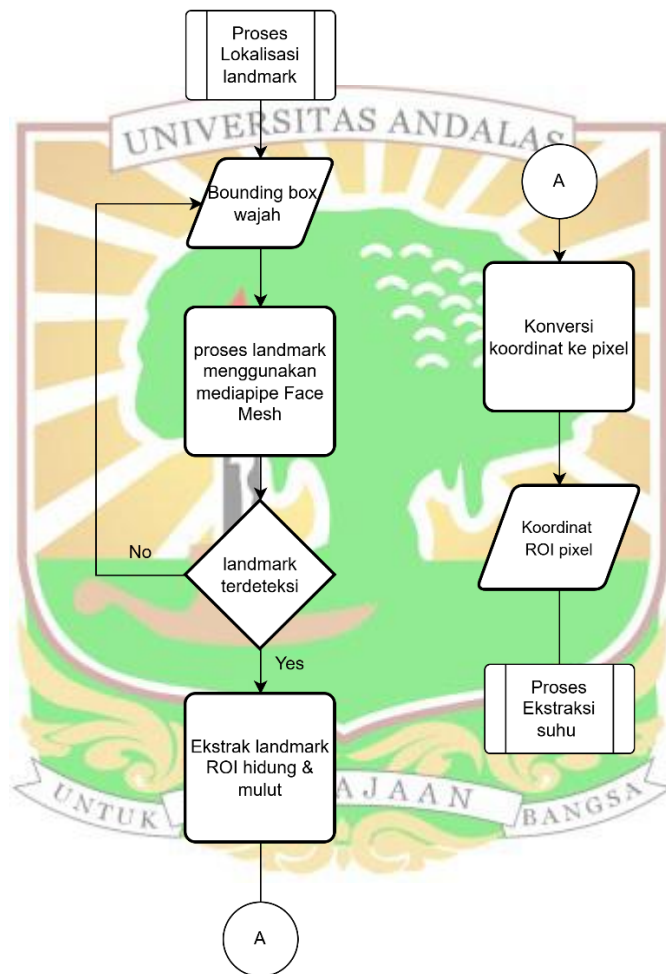
Gambar 3. 5 Flowchart deteksi wajah

Langkah pertama dalam pemrosesan citra adalah deteksi wajah. Proses dimulai dengan menerima frame citra termal sebagai input. Frame ini kemudian melalui proses konversi ke pseudo-RGB, yaitu mengubah citra termal 16-bit menjadi format 3-channel agar dapat diproses oleh model deteksi wajah. Setelah konversi selesai, sistem melakukan deteksi wajah menggunakan *BlazeFace*, model deteksi wajah ringan yang merupakan bagian internal dari pustaka *MediaPipe*. Jika hasil deteksi menyatakan bahwa area tersebut mengandung wajah, maka sistem akan menandai area tersebut dengan bounding box sebagai ROI (Region of Interest) wajah pada frame. Apabila terdapat beberapa bounding box yang saling tumpang tindih, sistem akan melakukan non-maximum suppression (NMS) untuk memilih bounding box terbaik dan menghindari duplikasi. Output dari tahap ini adalah satu koordinat

bounding box wajah yang dikirim ke proses berikutnya, yaitu pelokalan landmark wajah.

3.2.2 Proses lokalisasi landmark wajah

Pada sub proses ini dijelaskan tahapan lokalisasi landmark wajah. Tujuan dari proses ini adalah menentukan titik-titik penting pada wajah yaitu titik pada hidung dan mulut. Proses yang dilakukan Seperti yang dijelaskan pada gambar 3.7 berikut



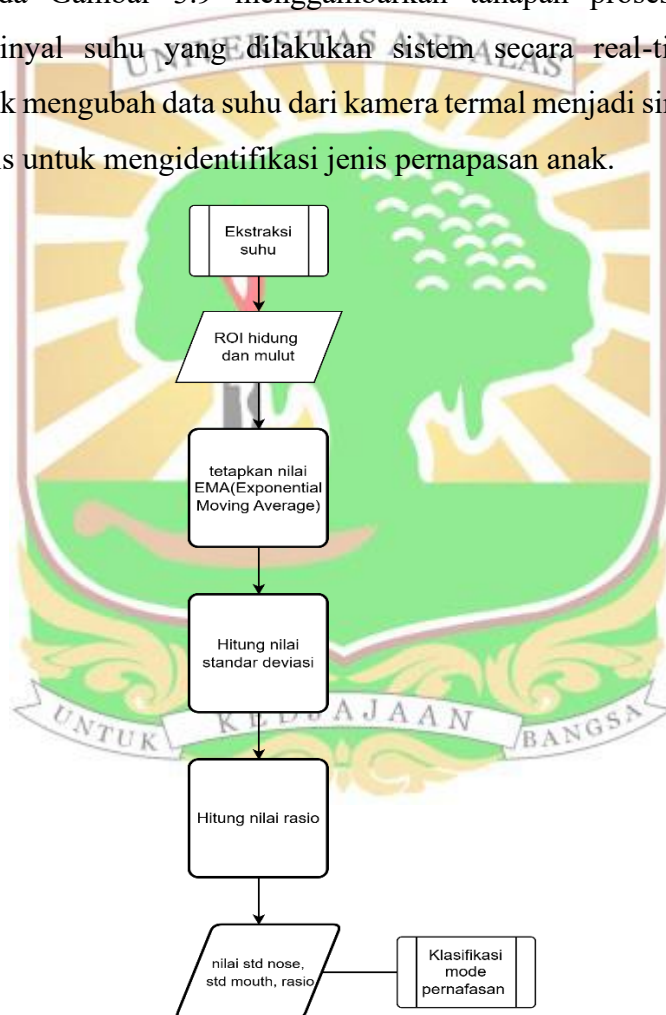
Gambar 3. 6 Flowchart sub proses landmark detection

Proses dimulai dari tahap lokalisasi landmark wajah, yang bertujuan untuk mendeteksi titik-titik penting pada wajah anak dalam citra termal. Pertama, sistem mengambil area wajah (bounding box) dari hasil deteksi sebelumnya. Selanjutnya, sistem menjalankan proses landmark menggunakan MediaPipe Face Mesh, yang memetakan ratusan titik koordinat pada permukaan wajah. Jika hasil deteksi

menyatakan bahwa landmark terdeteksi, sistem melanjutkan ke proses ekstrak landmark ROI hidung & mulut, yaitu memilih titik-titik landmark spesifik yang menjadi acuan area hidung dan area mulut dari keseluruhan titik yang dihasilkan Face Mesh. proses konversi koordinat ke pixel, yaitu mengubah koordinat landmark yang sebelumnya dalam bentuk ternormalisasi menjadi koordinat piksel aktual sesuai ukuran frame. Hasilnya berupa koordinat ROI pixel, yang kemudian diteruskan sebagai input untuk Proses Ekstraksi Suhu

3.2.3 Ekstraksi dan Pemrosesan Sinyal Suhu

Flowchart pada Gambar 3.9 menggambarkan tahapan proses ekstraksi dan pemrosesan sinyal suhu yang dilakukan sistem secara real-time. Proses ini bertujuan untuk mengubah data suhu dari kamera termal menjadi sinyal digital yang dapat dianalisis untuk mengidentifikasi jenis pernapasan anak.



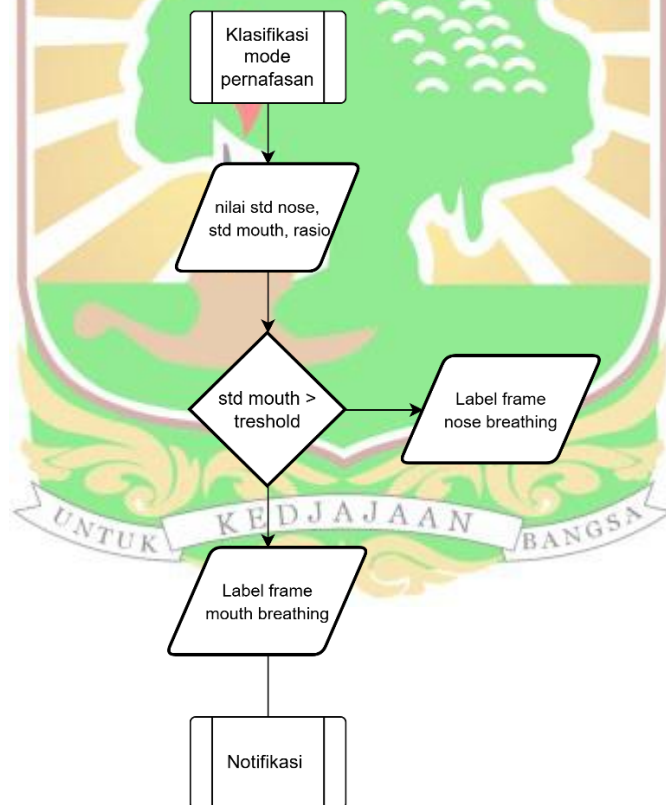
Gambar 3. 7 sub proses pemrosesan sinyal suhu

Proses dimulai dari Ekstraksi Suhu, yang menerima input ROI hidung dan mulut. Dari ROI tersebut, sistem menetapkan nilai EMA (Exponential Moving Average), yaitu menghaluskan nilai suhu mentah per frame menjadi sinyal yang lebih stabil.

Nilai EMA yang sudah diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai standar deviasi, yang menggambarkan seberapa besar fluktuasi suhu pada masing-masing ROI selama beberapa frame terakhir. Dari nilai standar deviasi hidung dan mulut tersebut, sistem selanjutnya menghitung nilai rasio, yaitu perbandingan antara standar deviasi mulut terhadap standar deviasi hidung. Ketiga nilai akhir std nose, std mouth, rasio menjadi output sub proses ini yang akan digunakan sebagai input dari sub proses klasifikasi mode pernafasan.

3.2.4 Proses Klasifikasi Mode Pernafasan

Flowchart pada Gambar 3.10 menggambarkan alur klasifikasi mode pernafasan berdasarkan perbandingan energi suhu dari dua Region of Interest (ROI), yaitu area mulut dan hidung. Proses klasifikasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi apakah anak bernapas melalui mulut, hidung.



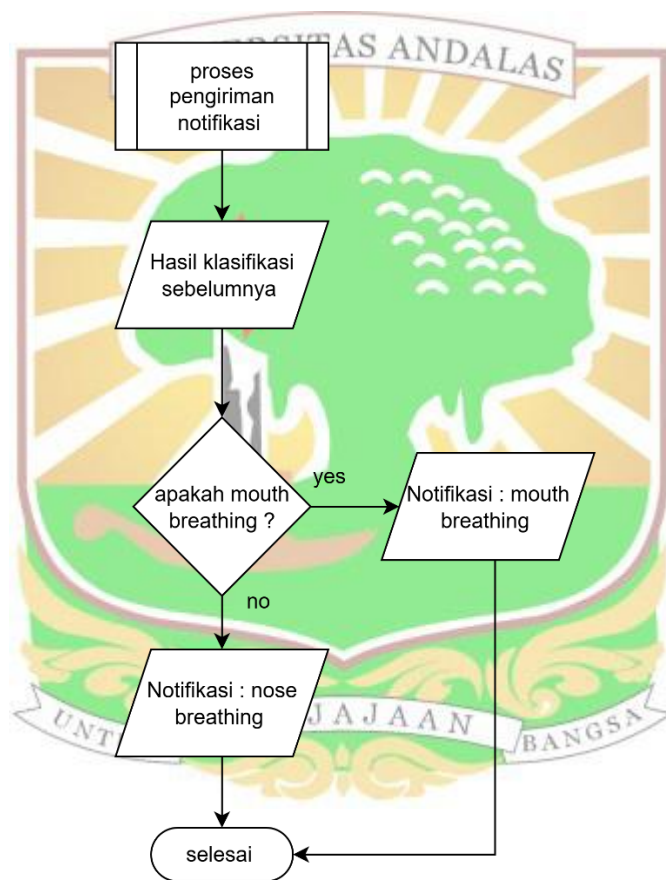
Gambar 3. 8 Sub proses klasifikasi mode pernafasan

Proses dimulai dengan menerima input berupa nilai std nose, std mouth dan rasio pada tahap sebelumnya. Nilai-nilai ini digunakan sebagai dasar klasifikasi, jika nilai std mouth lebih besar dari nilai threshold dapat dikategorikan sebagai mouth

breathing. Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi sistem memberikan label frame nose breathing. rsebut terpenuhi (cabang ke bawah), sistem memberikan label frame mouth breathing. Label yang dihasilkan dari kedua kemungkinan tersebut pada akhirnya digabungkan dan diteruskan ke proses Notifikasi, yang akan mengirimkan informasi status pernapasan kepada pengguna.

3.2.5 Proses Pengiriman Notifikasi

Flowchart pada Gambar 3.11 menggambarkan alur kerja sistem dalam memberikan notifikasi kepada orang tua atau pengasuh berdasarkan hasil klasifikasi mode pernapasan anak.



Gambar 3. 9 sub proses pengiriman notifikasi

Proses dimulai dengan menerima hasil klasifikasi pernapasan dari tahap sebelumnya yang memuat status apakah anak bernapas melalui mulut, hidung, atau kombinasi keduanya. Selanjutnya, sistem melakukan evaluasi terhadap status tersebut dengan percabangan logika: apakah status klasifikasi adalah mouth breathing?

Jika jawaban dari kondisi tersebut adalah ya, maka sistem segera mengirimkan notifikasi ke orang tua melalui Telegram Bot, dengan pesan peringatan seperti: “Anak terdeteksi bernapas melalui mulut pada pukul 15:17”. Notifikasi ini bertujuan untuk memberikan peringatan dini terhadap kebiasaan bernapas yang berpotensi mengganggu perkembangan kesehatan.

Jika hasil klasifikasi nose breathing sistem tetap mencatat status tersebut dan dapat mengirimkan notifikasi biasa yang bersifat informatif, bukan peringatan, atau bahkan melewati tahap notifikasi dan langsung ke pencatatan tergantung pengaturan sistem.

Langkah berikutnya adalah pencatatan log hasil klasifikasi, baik berupa mouth, nose, maupun mixed breathing. Informasi ini disimpan untuk keperluan monitoring jangka panjang dan evaluasi pola napas anak dari waktu ke waktu. Terakhir, proses ditutup dengan status selesai.

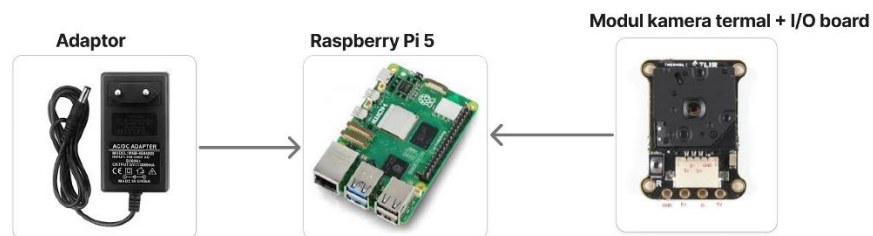
3.3 Rancangan detail Komponen Sistem

Rancangan sistem ini terdiri dari dua yaitu rancangan komponen perangkat keras dan rancangan komponen perangkat lunak yang dijabarkan sebagai berikut.

3.3.1 Rancangan Perangkat keras

Secara umum rancangan perangkat keras merujuk pada perancangan dan pemilihan

komponen fisik yang diperlukan untuk membangun sebuah sistem. Adapun perangkat keras pada sistem ini, yaitu Raspberry pi, kamera thermal lengkap dengan pure thermal board, wifi adapter dan power supply .



Gambar 3. 10 Rancangan Perangkat keras

Gambar 3.12 menampilkan diagram skematik sederhana dari sistem pendeteksi mouth breathing yang dibangun menggunakan komponen utama berbasis

Raspberry pi 5. Di bagian tengah bawah terdapat Raspberry pi 5, yang berfungsi sebagai otak utama sistem, tempat pemrosesan data suhu termal, klasifikasi pernapasan, dan pengiriman notifikasi dilakukan. Raspi 5 mendapatkan suplai daya melalui adaptor listrik DC (kiri bawah), yang tersambung ke port barrel jack untuk memberikan tegangan stabil sebesar 5V dengan arus minimal 4A, agar seluruh komponen dapat beroperasi dengan baik[22].

Sementara itu, di bagian atas sistem terdapat kamera termal FLIR Lepton 3.5 yang telah dipasangkan dengan breakout board. Kamera ini berfungsi menangkap citra termal dari wajah anak secara real-time, khususnya pada area mulut dan hidung. Breakout board ini menghubungkan kamera termal ke Raspi 5 melalui koneksi USB atau antarmuka SPI/I2C, tergantung jenis modul yang digunakan. Seluruh perangkat ini bekerja secara terintegrasi untuk melakukan pengambilan data suhu, pengolahan sinyal, klasifikasi mode pernapasan, serta pengiriman peringatan kepada orang tua apabila terdeteksi kebiasaan bernapas melalui mulut.

3.3.2 Rancangan Perangkat Lunak

Berikut adalah rancangan metode *rule based classification* dan *landmark detection* menggunakan Mediapipe:

3.3.2.1 Arsitektur Metode

Sistem ini terdiri dari tahapan utama yaitu akuisisi citra termal, preprocessing frame, deteksi wajah menggunakan MediaPipe BlazeFace, lokalisasi landmark menggunakan MediaPipe Face Mesh, ekstraksi suhu ROI, pemrosesan sinyal EMA dan standar deviasi, serta klasifikasi jenis pernapasan dengan pendekatan rule-based berdasarkan nilai standar deviasi dan rasio. Berikut penjelasan untuk setiap tahapan:

a. Proses akuisisi citra termal

Sistem ini menggunakan kamera Flir lepton 3.5 yang terhubung dengan jetson nano untuk menangkap citra termal wajah anak. Format input dari kamera termal berupa video stream. Tahap ini berfungsi untuk menyediakan input berupa wajah termal anak untuk dideteksi cara pernafasannya[11]. workhouse yang digunakan adalah Open CV. Fungsi Open CV dalam tahap ini adalah untuk akuisisi dan *streaming*

frame dari kamera (mis. VideoCapture) sehingga data termal bisa masuk stabil ke *pipeline*

b. Preprocessing Frame

Frame GRAY16 hasil konversi menjalani tiga tahap preprocessing sebelum dapat diproses oleh model deteksi wajah. Pertama, frame grayscale 8-bit dikonversi menjadi citra pseudo-RGB dengan menduplikasi satu channel menjadi tiga channel, karena model MediaPipe mensyaratkan input RGB. Ketiga, diterapkan CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*) dengan ukuran *tile grid* 8×8 piksel untuk memperjelas tepi fitur wajah pada resolusi rendah 160×120 piksel. Tahap preprocessing ini terbukti krusial: sebelum penerapan CLAHE, tingkat keberhasilan deteksi wajah hanya berkisar 50%; setelah penerapan teknik tersebut, tingkat keberhasilan meningkat mendekati 80%.

c. Deteksi wajah

Proses ini berfungsi untuk menemukan area kasar wajah pada frame termal menggunakan model BlazeFace yang terintegrasi secara internal dalam pustaka MediaPipe. BlazeFace bekerja pada citra pseudo-RGB nantinya frame ini diproses menggunakan jaringan ekstraksi fitur yang memanfaatkan operasi konvolusi untuk mengurangi jumlah parameter sehingga beban komputasi berkurang. Dari fitur yang diekstraksi, model memprediksi keberadaan wajah menggunakan skema SSD (*Single Shot MultiBox Detector*). SSD adalah arsitektur deteksi objek yang proses ekstraksi fitur, klasifikasi objek, dan lokalisasi posisi dilakukan sekaligus dalam satu jaringan tunggal, tanpa perlu tahap terpisah untuk mengusulkan area kandidat objek. Karakteristik utama SSD adalah penggunaan *default box* (anchor) pada beberapa *feature map* dengan resolusi berbeda. secara spesifik menggunakan 6 *anchor* per piksel pada *feature map* berukuran 8×8 dan 2 *anchor* per piksel pada *feature map* 16×16 , dengan rasio aspek dibatasi 1:1 karena proporsi wajah manusia pada umumnya mendekati persegi. Karena satu wajah berpotensi terdeteksi oleh beberapa *anchor* sekaligus, model ini menerapkan strategi resolusi konflik prediksi. sehingga menghasilkan estimasi *bounding box* yang lebih stabil secara temporal antar-frame video[11].

Setelah *bounding box* wajah diperoleh, area tersebut dipotong (*cropped*) dari frame asli, kemudian diskalakan ulang ke ukuran tetap sebelum diproses oleh model tahap

kedua. Pada tahap ini, jaringan neural berbasis arsitektur residual melakukan regresi untuk memprediksi koordinat 468 hingga 478 titik landmark tiga dimensi. Karena tahap regresi ini bekerja pada citra yang telah dinormalisasi ukurannya melalui proses *cropping* dan penyelarasan (*alignment*), jaringan tidak perlu lagi menangani variasi skala maupun translasi objek, sehingga kapasitas komputasi model dapat difokuskan sepenuhnya pada akurasi estimasi posisi setiap titik landmark.[11].

d. *Landmark detection* menggunakan Mediapipe

Deteksi landmark wajah merupakan tahap penting dalam sistem deteksi mouth breathing untuk menentukan area-area kunci pada wajah, khususnya hidung dan mulut, yang menjadi sumber utama pernapasan. Proses ini dilakukan Setelah *bounding box* wajah diperoleh dari tahap BlazeFace. Secara arsitektur, Tahapan dalam MediaPipe Face Mesh tersusun atas empat tahap yang berurutan yaitu, deteksi wajah, regresi landmark, reproyeksi koordinat, dan penyaringan temporal (*temporal filtering*), yang melibatkan dua komponen jaringan neural utama detector wajah yang memproses citra RGB resolusi penuh dan menghasilkan kotak pembatas beserta titik acuan awal, dan model regresi landmark yang bekerja pada area wajah yang telah dipotong dari kotak tersebut[20].

Pada tahap regresi, jaringan neural berbasis arsitektur residual memprediksi koordinat landmark dalam bentuk nilai ternormalisasi pada rentang $[0,0, 1,0]$ relatif terhadap ukuran patch wajah yang telah melalui proses *cropping*. Sehingga jaringan tidak perlu lagi menangani variasi skala maupun translasi objek dan dapat memfokuskan kapasitas komputasinya pada akurasi estimasi posisi tiap titik. Model regresi ini dilatih menggunakan fungsi *loss* gabungan yaitu composite loss dan loss entropi untuk memprediksi keberadaan wajah, dengan koefisien penyeimbang tertentu untuk menstabilkan proses pelatihan. Jumlah total titik landmark yang dihasilkan 478 titik[20].

Dari 478 titik landmark yang dihasilkan, sistem mengambil 6 indeks landmark sebagai acuan ROI hidung (indeks 1, 2, 4, 98, 327, 168) dan 6 indeks landmark sebagai acuan ROI mulut (indeks 0, 13, 14, 17, 78, 308). Pemilihan titik-titik spesifik ini konsisten dengan prinsip topologi mesh yang telah disebutkan sebelumnya, di mana area hidung dan mulut termasuk fitur wajah dengan kepadatan

titik landmark yang relatif tinggi, sehingga cukup representatif untuk digunakan sebagai batas penentu area ekstraksi suhu[20].

e. Ekstraksi suhu ROI

Setelah sistem berhasil mendeteksi koordinat landmark wajah, khususnya titik hidung dan mulut, langkah selanjutnya adalah melakukan ekstraksi suhu pada *Region of Interest (ROI)*. ROI merupakan area kecil di sekitar titik landmark yang diasumsikan sebagai jalur utama aliran napas. Untuk setiap ROI, sistem akan menghitung rata-rata suhu (*mean*). Proses ini dilakukan secara berkala per frame, dengan kecepatan antara 8 hingga 10 frame per detik, sesuai dengan kemampuan kamera FLIR Lepton 3.5. Hasil dari proses ini adalah dua sinyal suhu deret waktu, masing-masing mewakili perubahan suhu di sekitar hidung dan mulut. Sinyal ini kemudian digunakan pada tahap pemrosesan selanjutnya untuk menganalisis pola pernapasan dan mengklasifikasikan jenis napas berdasarkan dominasi suhu antara dua area tersebut[11].

f. Pemrosesan sinyal

Sinyal suhu yang telah diperoleh dari ROI hidung dan mulut kemudian diproses lebih lanjut untuk mengekstraksi informasi pernapasan. Nilai rata-rata suhu per frame diperhalus menggunakan *Exponential Moving Average (EMA)* dengan faktor peluruhan (α), mengikuti Persamaan 2.2. Nilai EMA yang terkumpul disimpan dalam *rolling buffer* berupa struktur data deque dengan kapasitas maksimum frame untuk masing-masing ROI. Setelah buffer terisi penuh, sistem menghitung standar deviasi (σ_{nose} dan σ_{mouth}) dari nilai-nilai dalam buffer tersebut sesuai Persamaan 2.3 dan 2.4. EMA dan standar deviasi menghasilkan estimasi variabilitas suhu dengan latensi yang jauh lebih rendah dan beban komputasi yang lebih ringan, sehingga lebih sesuai untuk pemrosesan *real-time* pada perangkat *embedded* seperti Raspberry Pi 5.[11].

g. Klasifikasi jenis pernafasan

Setelah sistem mendapatkan nilai standar deviasi dan nilai EMA Klasifikasi dilakukan menggunakan pendekatan *rule-based* dengan kondisi yang harus terpenuhi, yaitu nilai σ_{mouth} (standar deviasi mulut) harus lebih besar dari nilai ambang THR_STD_MOUTH (threshold yang ditetapkan). Jika kondisi terpenuhi, frame tersebut diklasifikasikan sebagai *mouth breathing*. Jika kondisi tidak

terpenuhi, frame diklasifikasikan sebagai *nose breathing*. Hasil klasifikasi per frame selanjutnya dikumpulkan dalam *voting buffer* berupa deque dengan kapasitas maksimum frame, dan sistem membutuhkan konsensus minimal dari batas maksimum kapasitas frame sebelum mengubah label stabil yang ditampilkan dan dikirimkan sebagai notifikasi.[11].

3.3.2.2 Dataset

Dataset yang digunakan dalam sistem dibagi menjadi dua jenis sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen utama, yaitu model deteksi landmark dan klasifikasi jenis pernapasan. Untuk proses deteksi landmark digunakan dataset publik SF-TL54, yang terdiri dari citra wajah termal beserta anotasi 54 titik landmark wajah. Dataset ini sangat relevan karena menyediakan pasangan citra termal dan koordinat titik penting seperti hidung, mata, dan mulut, yang dibutuhkan dalam proses pelatihan model deteksi landmark pada domain thermal[26].

Sementara itu, untuk keperluan klasifikasi jenis pernapasan berbasis rule-based, digunakan data suhu hasil akuisisi langsung dari kamera FLIR Lepton 3.5. Citra termal direkam secara real-time dengan resolusi 160×120 piksel, dan dari setiap frame, sistem mengambil nilai suhu rata-rata dari ROI hidung dan mulut berdasarkan hasil deteksi landmark. Nilai-nilai suhu ini kemudian disimpan dalam format CSV sebagai sinyal deret waktu yang merepresentasikan perubahan suhu per frame. Dataset suhu inilah yang digunakan dalam proses filtering, transformasi frekuensi, dan perhitungan rasio energi untuk klasifikasi napas.

3.3.2.3 Proses Metode

Proses dalam sistem ini dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama yaitu, deteksi *landmark* wajah menggunakan MediaPipe Face Mesh dan klasifikasi jenis pernapasan menggunakan pendekatan *rule-based* berbasis EMA dan standar deviasi. Pada bagian lokalisasi landmark, digunakan model *pre-trained* MediaPipe Face Mesh yang berjalan dengan akselerasi CPU melalui XNNPACK *delegate*, dioptimalkan untuk perangkat *edge* seperti Raspberry Pi 5. MediaPipe Face Mesh tidak memerlukan proses pelatihan maupun penyesuaian model karena

telah dilatih sebelumnya oleh Google pada dataset wajah berskala besar. Proses inferensi berjalan dalam dua tahap internal: pertama, model BlazeFace mendeteksi lokasi wajah dari frame penuh; kedua, model regresi landmark memetakan 478 titik koordinat hanya pada area wajah yang telah dipotong (*cropped*) berdasarkan hasil deteksi tahap pertama. Output dari proses ini berupa koordinat piksel yang digunakan untuk menentukan posisi ROI hidung dan mulut yang akan dianalisis lebih lanjut.[19].

Pada bagian klasifikasi pernapasan, sistem tidak menggunakan model machine learning, melainkan menerapkan pendekatan berbasis aturan (*rule-based*). Setelah memperoleh nilai rata-rata suhu dari ROI hidung dan mulut, sistem menerapkan EMA dengan faktor peluruhan $\alpha = 0.3$ untuk menghaluskan sinyal suhu per frame[27]. Nilai EMA yang terkumpul dalam *rolling buffer* digunakan untuk menghitung standar deviasi σ_{nose} dan σ_{mouth} , yang merepresentasikan tingkat variabilitas suhu di masing-masing area akibat aliran napas. Sistem kemudian mengevaluasi dua kondisi ambang secara bersamaan: apakah σ_{mouth} melebihi threshold yang ditetapkan, frame diklasifikasikan sebagai *mouth breathing*. Hasil klasifikasi per frame dikumpulkan dalam *voting buffer* dan label stabil baru diperbarui apabila tercapai konsensus minimal 6 dari 8 frame, sehingga mengurangi fluktuasi klasifikasi yang bersifat sesaat (*flickering*)[11].

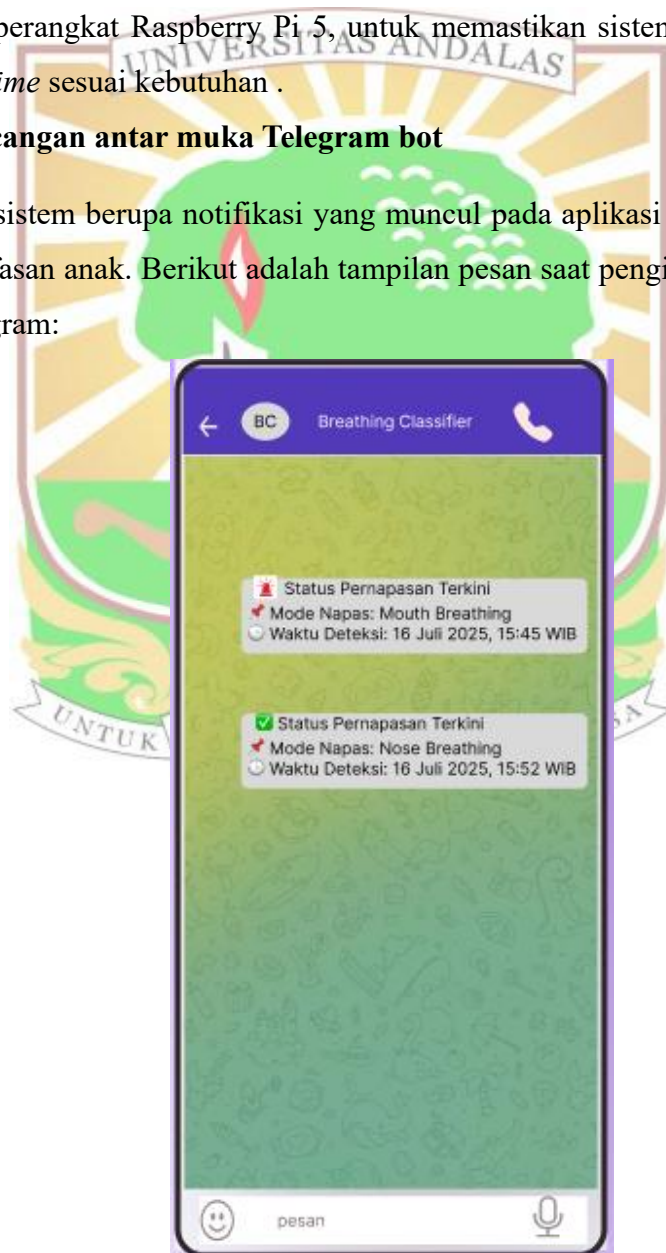
3.3.2.4 Rencana analisis hasil

Rencana analisis hasil dalam sistem ini dilakukan untuk mengevaluasi performa dari dua komponen utama, yaitu deteksi landmark wajah dan klasifikasi jenis pernapasan. Pada evaluasi akurasi sensor, kamera FLIR Lepton 3.5 diuji dengan membandingkan nilai suhu yang terbaca pada objek referensi suhu terkontrol terhadap nilai yang terbaca oleh termometer probe digital sebagai alat pembanding. Objek referensi berupa wadah air hangat pada rentang suhu 30–40°C ditempatkan dalam satu *frame* bersama wajah subjek, dan pengujian dilakukan pada lima titik suhu dengan tiga kali pengulangan setiap titik. Hasil pengujian dinyatakan sebagai *Mean Absolute Error* (MAE) antara suhu yang terbaca kamera dan suhu referensi. Pada evaluasi klasifikasi jenis pernapasan, sistem diuji menggunakan data rekaman subjek dengan label *ground truth* yang dikonfirmasi melalui modifikasi *Glatzel mirror test*, yaitu pengamatan pola kondensasi napas pada permukaan

logam datar yang ditempatkan di bawah hidung dan mulut subjek. Performa klasifikasi dievaluasi menggunakan *confusion matrix* untuk memperoleh nilai *accuracy*, *sensitivity* (kemampuan mendeteksi *mouth breathing* yang sesungguhnya), dan *specificity* (kemampuan mengidentifikasi *nose breathing* dengan benar). Selain aspek akurasi klasifikasi, evaluasi juga mencakup *response time* sistem, yaitu durasi yang dibutuhkan sejak terjadinya perubahan modus pernapasan hingga label stabil pertama kali muncul pada layar, dengan target waktu respons tidak lebih dari 10 detik. Evaluasi performa komputasi dilakukan dengan mengukur kecepatan pemrosesan rata-rata dalam satuan *frame per second* (FPS) pada perangkat Raspberry Pi 5, untuk memastikan sistem dapat berjalan secara *real-time* sesuai kebutuhan.

3.3.2.5 Rancangan antar muka Telegram bot

Output dari sistem berupa notifikasi yang muncul pada aplikasi telegram terkait status pernafasan anak. Berikut adalah tampilan pesan saat pengiriman notifikasi melalui telegram:



Gambar 3. 11 Tampilan notifikasi pada telegram

Gambar 3.11 menampilkan tampilan antarmuka percakapan pada aplikasi Telegram dengan sebuah bot bernama "Breathing Classifier". Bot ini dirancang untuk memberikan notifikasi status pernapasan anak secara otomatis berdasarkan hasil klasifikasi dari sistem terkait status mode pernapasan anak. Dalam ilustrasi ini, bot mengirimkan tiga jenis notifikasi yang merepresentasikan tiga kondisi berbeda: *mouth breathing* dan *nose breathing*

3.4 Rencana Jadwal Pengerjaan

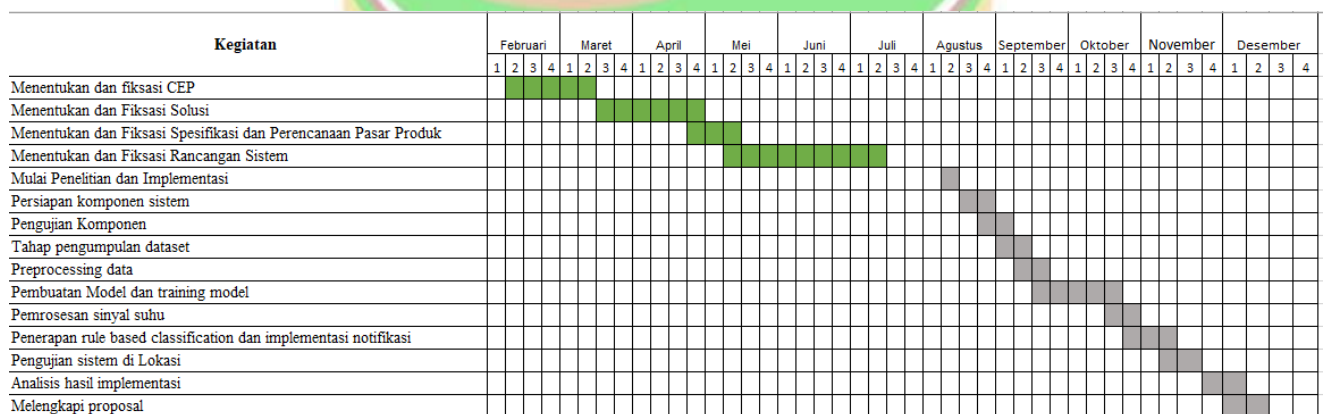
Pada jadwal pengerjaan ini dijelaskan timeline pembuatan laporan berdasarkan waktu pembuatan alat. Rincian durasi penulisan laporan dan proses pembuatan alat dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Rencana Pengerjaan

No	Rencana Pengerjaan	Waktu pelaksanaan
1	Menentukan dan Fiksasi CEP	13 Februari – 10 Maret 2025
2	Menentukan dan Fiksasi Solusi	11 Maret – 25 April 2025
3	Menentukan dan Fiksasi Spesifikasi dan Perencanaan Pasar Produk	26 April – 8 Mei 2025
4	Menentukan dan Fiksasi Rancangan Sistem	9 Mei- 14 Juli 2025
5	Mulai Penelitian dan Implementasi	15 Agustus
6	Persiapan komponen sistem	15 Agustus-30 Agustus 2025
7	Pengujian Komponen	31 Agustus-3 September 2025
8	Tahap pengumpulan dataset	4 september -11 September 2025
9	Preprocessing data	12 September – 18 September 2025
10	Pembuatan Model dan training model	19 September – 15 Oktober 2025

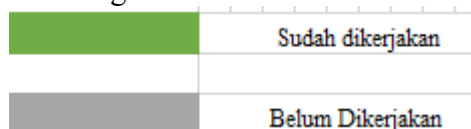
No	Rencana Pengerjaan	Waktu pelaksanaan
11	Pemrosesan sinyal suhu	16 Oktober- 26 Oktober 2025
12	Penerapan rule based classification dan implementasi notifikasi	27 Oktober – 12 November 2025
13	Pengujian sistem di Lokasi	13 November-22 November 2025
14.	Analisis hasil implementasi	23 November – 2 Desember 2025
15.	Melengkapi proposal	3 Desember – 15 Desember 2025

Tabel 3.2 di atas menunjukkan rencana jadwal pengerjaan yang meliputi berbagai tahapan, mulai dari penentuan CEP hingga penulisan laporan. Setiap tahapan dilengkapi dengan waktu pelaksanaan yang jelas, yang memberikan Gambaran mengenai alur kerja dan durasi masing-masing kegiatan dalam pengembangan alat.



Gambar 3. 12 Gantt Chart Kegiatan

Keterangan :



BAB IV IMPLEMENTASI

4.1 Implementasi Sistem

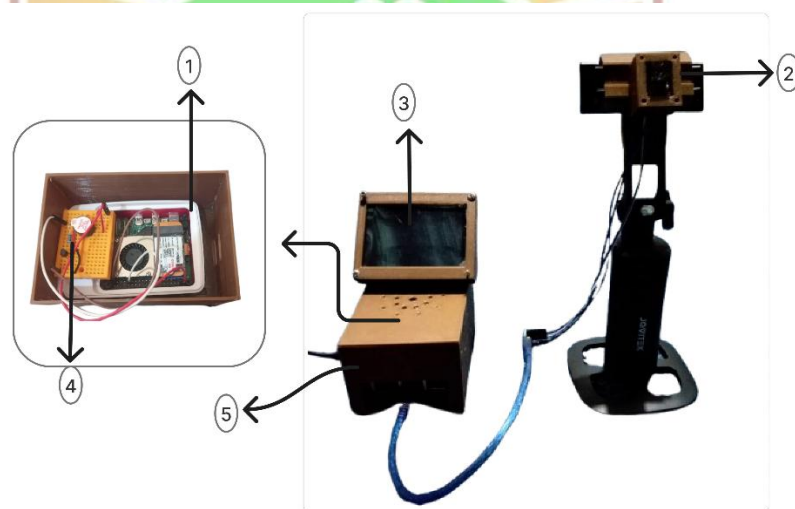
Bagian ini merupakan tahap realisasi dari rancangan sistem yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Sistem ini diperuntukan untuk melakukan klasifikasi pernapasan pada anak usia 6 sampai 9 tahun untuk mendeteksi kecenderungan *mouth breathing* dalam selama 10 menit. Kondisi ideal untuk implementasi sistem adalah wajah subjek dihadapkan sejajar dengan kamera termal dan subjek dalam keadaan cenderung diam tidak sedang dalam aktivitas yang mengharuskan banyak bergerak ataupun sedang tidur. Sistem dikembangkan dalam dua bagian utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Alat ini diimplementasikan pada rumah ataupun tempat konsultasi anak dengan kecenderungan *mouth breathing*. Rangkaian implementasi alat dan sistemnya dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada proses implementasi terdapat perubahan dari aspek perangkat keras maupun perangkat lunak. Perubahan tersebut berupa penambahan LCD display, rangkaian buzzer serta penyesuaian nilai *threshold* yang digunakan dalam sistem.



Gambar 4. 1 Implementasi Sistem

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras pada sistem ini dilakukan dengan merakit sejumlah komponen utama yang berfungsi mendukung keseluruhan kinerja alat. Komponen komponen tersebut terdiri dari Raspberry Pi 5 sebagai unit pemrosesan utama sistem, kamera termal Flir Lepton 3.5 sebagai device yang menangkap frame termal subjek, adaptor sebagai sumber arus dari sistem. Dalam implementasi terdapat beberapa penambahan perangkat keras yaitu LCD display 3.5inch dan tripod, rangkaian buzzer. Penambahan LCD display ditambahkan sebagai media tampilan visual frame termal yang ditangkap oleh kamera. Penambahan Tripod berfungsi untuk membuat kamera mempunyai posisi yang statis dan stabil. Rangkaian buzzer berfungsi sebagai indikator wajah tidak terdeteksi. Tampilan perangkat keras sistem ditunjukkan pada gambar 4.2



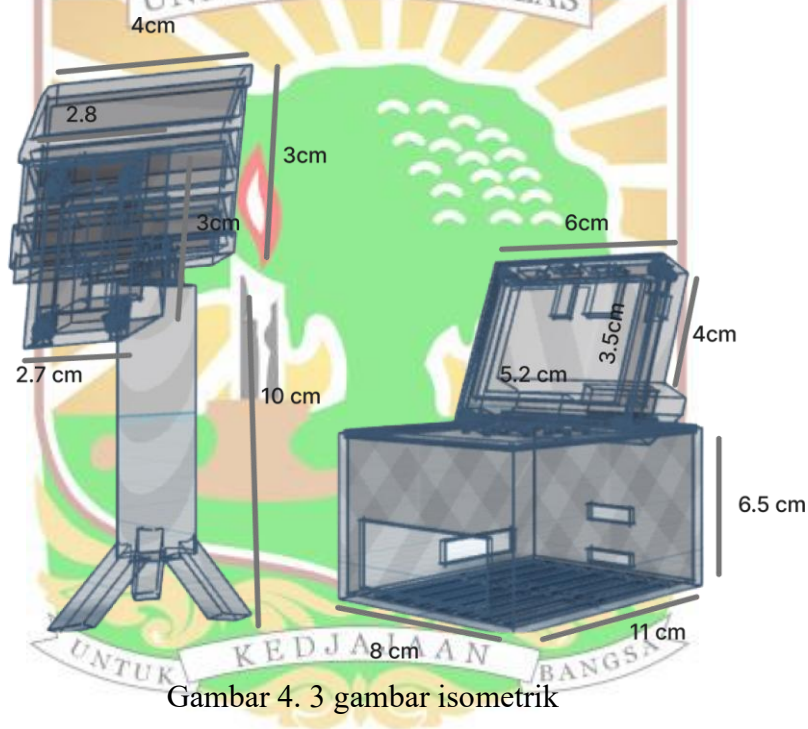
Gambar 4. 2 Detail komponen pada sistem

Berikut merupakan penjelasan komponen yang digunakan pada sistem:

1. Raspberry Pi 5, sebagai unit pemrosesan utama sistem yang menjalankan sistem klasifikasi pernapasan dengan metode rule-based classification. Komponen ini mengatur input dari kamera termal, mengatur display pada LCD serta mengatur aktivasi rangkaian buzzer.
2. Kamera termal Flir Lepton 3.5, berfungsi untuk menangkap wajah subjek dalam domain termal. Frame termal ini nantinya digunakan untuk proses deteksi wajah dan landmark hidung dan mulut.

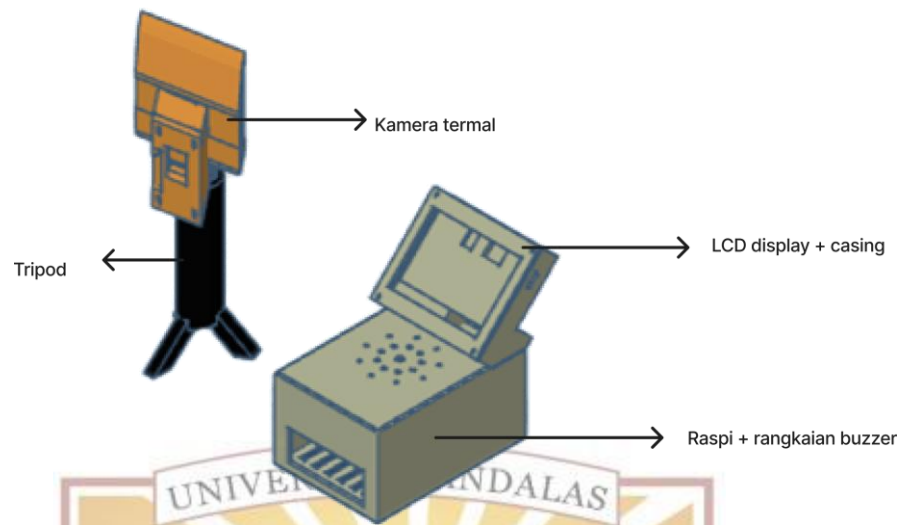
3. Layar LCD, display berfungsi sebagai media tampilan visual frame termal. Dengan adanya tampilan pada layar LCD memudahkan untuk menentukan arah kamera sudah tepat dan wajah subjek ditampilkan pada frame termal.
4. Rangkaian buzzer, rangkaian ini terdiri dari buzzer, resistor 1k ohm untuk mengurangi tegangan yang mengalir ke buzzer, transistor sebagai switch. Rangkaian ini berfungsi sebagai indikator sistem tidak dapat mendeteksi wajah.
5. Adaptor 5v berfungsi untuk sumber arus dalam sistem.

Karena terdapat penambahan komponen berupa LCD display 3.5 inch dan rangkaian buzzer dilakukan perubahan pada casing sistem seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3 yang merupakan Gambaran 2 dimensi dari sistem



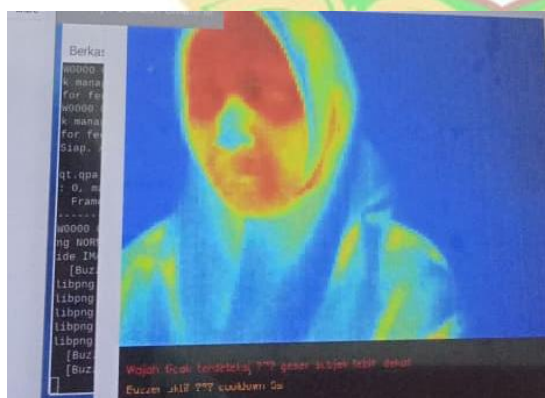
Gambar 4. 3 gambar isometrik

Serta gambar 4.4 yang merupakan gambar 3d setelah implementasi penambahan komponen.



Gambar 4. 4 Desain casing sistem

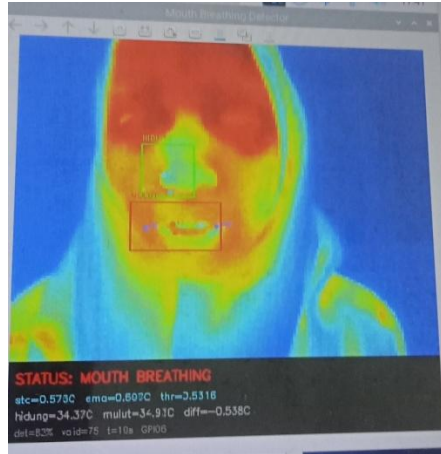
Selain itu terdapat perubahan pada jarak implementasi sistem, sebelumnya dari yang semula sistem di implementasikan dalam jarak 20-30 cm menjadi 10-15 cm. hal ini terjadi karena, resolusi kamera (160×120 pixel) terlalu rendah untuk mendeteksi landmark wajah pada jarak 20–30 cm. Namun, pada jarak 10–15 cm, wajah memenuhi frame sehingga MediaPipe dapat mendeteksi landmark dengan stabil. Seperti terlihat pada gambar 4.5 (a) gambar yang diambil dari jarak 20 cm dan gambar 4.5 b yang diambil dari jarak 15 cm dan gambar 4.5 c merupakan gambar yang diambil dari jarak 10 cm .



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 5 perbandingan jarak kamera dari subjek

4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak pada sistem ini dikembangkan menggunakan Bahasa pemrograman python yang dijalankan pada virtual environment. Penggunaan virtual environment ini bertujuan untuk memisahkan dependensi Pustaka yang digunakan sistem, seperti OpenCV,MediaPipe, Gstream binding. Untuk memastikan sistem dapat berjalan secara otomatis dan kontinu tanpa perlu dijalankan secara manual setiap kali Raspberry Pi dinyalakan, sistem dikonfigurasi menggunakan *systemd service*. Layanan ini memuat script utama di dalam virtual environment yang sudah disiapkan, sehingga sistem deteksi mouth breathing dapat langsung aktif pascaboot tanpa menggunakan command tertentu pada terminal. Dalam proses implementasi perangkat lunak terdapat beberapa penyesuaian dalam setiap tahap deploy sistem yang akan dijelaskan lebih lanjut pada poin 4.1.2.2 dan 4.1.2.6

4.1.2.1 Implementasi Akuisisi Citra Termal

Terdapat perubahan pada proses akuisisi citra termal, dari yang sebelumnya direncanakan menggunakan fungsi Vidio Capture dari library OpenCV untuk menangkap dan menampilkan frame termal yang sudah ditangkap oleh kamera.Namun saat implementasi, cara ini tidak dapat diterapkan. Karena, kamera FLIR Lepton 3.5 yang bersifat radiometrik, yaitu setiap piksel pada *frame* yang dihasilkan merepresentasikan nilai suhu dalam format 16-bit(GRAY16_LE), sedangkan fungsi video capture yang terdapat pada OpenCV diperuntukkan untuk

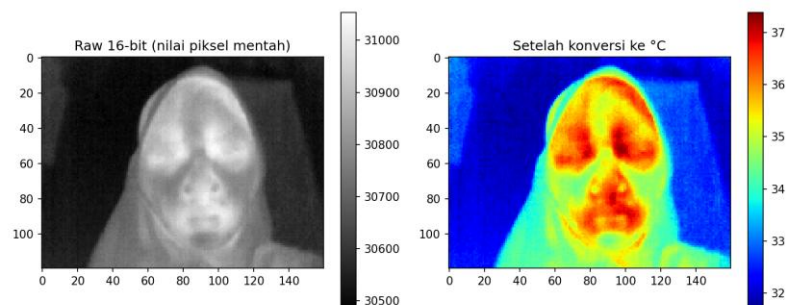
memproses format citra 8-bit (format RGB biasa). Ketika fungsi ini digunakan tampilan termal tidak muncul, oleh karena itu Solusi yang digunakan adalah menggunakan pipeline GStreamer, merupakan framework multimedia yang mendukung berbagai format vide, termasuk format radioemtrik 16-bit.

v4l2src berfungsi sebagai sumber akuisisi *frame* yang mengambil data langsung dari kamera melalui antarmuka Video4Linux2 (V4L2) pada Raspberry Pi 5. Selanjutnya citra grayscale 16-bit diteruskan ke pipeline dengan urutan *byte little-endian*,sesuai dengan format output dari FLIR Lepton 3.5. Kemudian, elemen appsink berfungsi sebagai titik keluaran yang memungkinkan *frame* hasil akuisisi diteruskan ke dalam *script* Python untuk diproses lebih lanjut, tanpa mengalami konversi atau kompresi yang dapat menghilangkan informasi suhu pada data asli[15].

Setiap *frame* yang diterima melalui *pipeline* tersebut masih berupa nilai mentah (*raw value*) dalam format digital dan belum merepresentasikan satuan suhu yang dapat diinterpretasikan secara langsung. Oleh karena itu, dilakukan proses konversi radiometrik untuk mengubah nilai piksel mentah menjadi nilai suhu dalam derajat Celcius, menggunakan persamaan 4.1 berikut [15]

$$T (^{\circ}C) = \frac{raw_value}{100} - 273.15 \quad (4.1)$$

Persamaan ini diperoleh berdasarkan spesifikasi kalibrasi radiometrik dari FLIR Lepton 3.5, di mana setiap nilai piksel mentah merepresentasikan suhu dalam satuan centikelvin. Visualisasi dari akuisisi citra termal ini dapat dilihat pada gambar 4.4



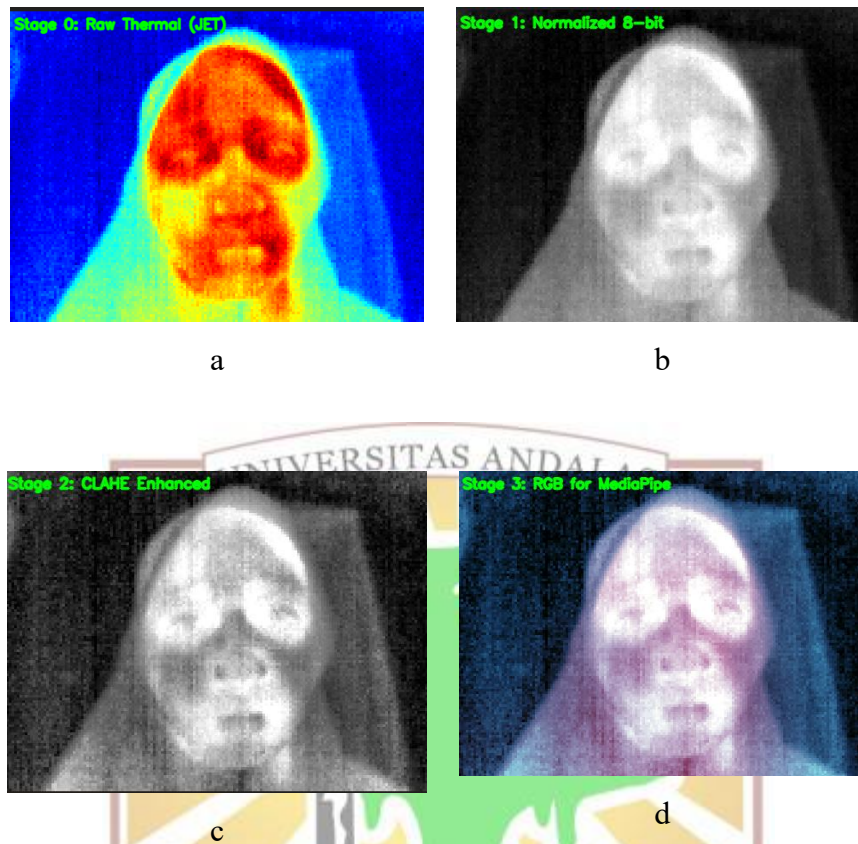
Gambar 4. 6 konversi citra termal

4.1.2.2 Implementasi Preprocessing Frame

Data radiometrik mentah dari FLIR Lepton 3.5 berformat 16-bit, jauh melebihi rentang 8-bit yang dibutuhkan untuk pemrosesan citra standar visualisasi dari gambar termal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7 jauh melebihi rentang 8-bit yang dibutuhkan untuk pemrosesan citra standar(RGB biasa) . Karena itu sistem memakai percentile clipping p2–p98: nilai di bawah persentil ke-2 dipotong ke persentil ke-2, nilai di atas persentil ke-98 dipotong ke persentil ke-98, baru kemudian rentang p2–p98 itu dinormalisasi linear ke 0–255.

Citra hasil normalisasi ini masih grayscale satu kanal, sementara BlazeFace dan Face Mesh dirancang menerima input tiga kanal (*RGB*) karena dilatih di atas dataset RGB natural(*Red Green Blue*) maksud dari RGB natural adalah citra yang memiliki 3 channel yang terdiri dari 3 warna berbeda yaitu merah, hijau dan biru. Untuk itu proses konversinya dilakukan dengan menduplikasi nilai grayscale ke tiga kanal identik, bukan menghasilkan warna baru hanya sekadar menyesuaikan bentuk tensor input dengan yang diharapkan model, tanpa menambah informasi warna yang memang tidak ada pada data aslinya. Kontras lokal di sekitar hidung dan mulut, citra jenis ini disebut dengan pseudo RGB. tetap rendah kalau distribusi suhu di wajah relatif seragam dibanding latar belakang, oleh karena itu diperlukan tahapan CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*). Cara kerjanya dengan membagi citra jadi tile-tile kecil non-tumpang-tindih dan meratakan histogram tiap tile secara independen, sehingga kontras diregangkan berdasarkan statistik lokal, bukan statistik citra secara keseluruhan. Batas antar-tile lalu dihaluskan dengan interpolasi bilinear supaya tidak muncul garis artefak, dan hasil akhirnya kontur hidung dan batas bibir jadi lebih tegas dibanding sekitarnya. Sehingga hasil akhir dari proses preprocessing ini adalah pseudo RGB yang sudah mengalami penajaman kontras di area hidung dan mulut. Untuk tahapan setiap proses terdapat pada gambar 4.7

Gambar 4. 7 tahapan preprocessing

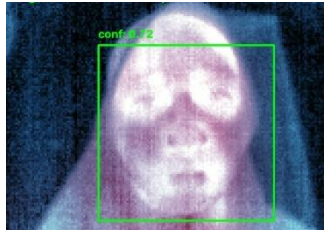


4.1.2.3 Implementasi Deteksi Wajah dan Lokalisasi Landmark

Proses deteksi wajah dan lokalisasi *landmark* pada implementasi mengikuti rancangan yang telah dijelaskan pada *flowchart* Gambar 3.6 dan Gambar 3.7, yaitu menggunakan model BlazeFace untuk deteksi wajah dan MediaPipe Face Mesh untuk lokalisasi titik-titik *landmark*.

A. Deteksi wajah menggunakan Blazeface

Deteksi wajah pada sistem ini dilakukan menggunakan model BlazeFace, yang bekerja secara internal pada library MediaPipe. Model ini bersifat *pre-trained* input model BlazeFace adalah frame citra pseudo-RGB nantinya frame ini diproses menggunakan jaringan ekstraksi fitur yang memanfaatkan operasi konvolusi untuk mengurangi jumlah parameter sehingga beban komputasi berkurang. Dari fitur yang diekstraksi (fitur yang ada pada wajah seperti mata, pipi, dan bagian wajah lain), model memprediksi keberadaan wajah menggunakan skema *SSD (Single Shot MultiBox Detector)*. Sehingga skema ini nantinya menghasilkan bounding box dari subjek seperti yang terlihat pada gambar 4.9

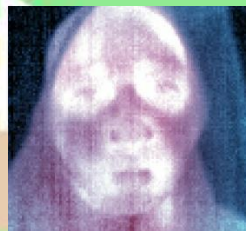


Gambar 4. 8 Bounding Box

Gambar 4.9 merupakan gambar dari hasil deteksi wajah mulai dari dahi sampai ke dagu dengan confidence score 0.72. kemudian tahap selanjutnya setelah bounding box adalah proses penentuan titik-titik di area hidung dan mulut untuk digunakan pada ROI

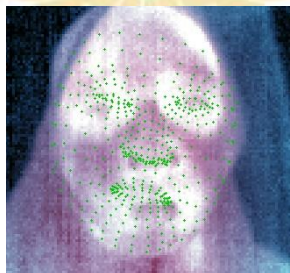
B. Lokalisasi Landmark Menggunakan MediaPipe Face Mesh

Setelah *bounding box* wajah diperoleh, tahap selanjutnya adalah lokalisasi *landmark* menggunakan MediaPipe Face Mesh. Model ini melakukan *cropping* pada area wajah hasil deteksi BlazeFace, *Cropping* area wajah. Seperti yang ditampilkan gambar 4.10



Gambar 4. 9 crop area wajah

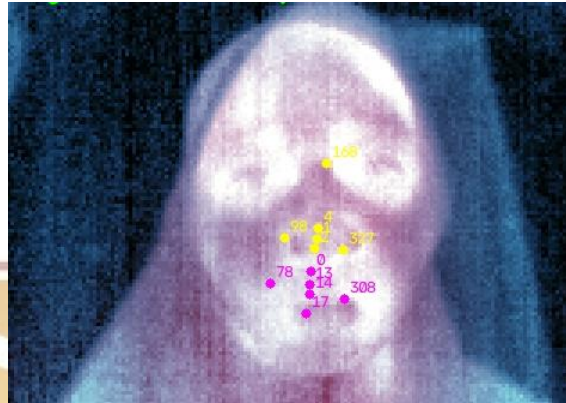
Gambar 4.10 menunjukkan area wajah yang telah dipotong dari frame asli berdasarkan koordinat *bounding box* pada gambar 4.9. tahap selanjutnya adalah hasil regresi titik-titik pada area wajah yaitu sebanyak 478 titik. Seperti yang ditampilkan pada gambar 4.11



Gambar 4. 10 478 landmark wajah

Dari 478 titik *landmark* yang dihasilkan, sistem hanya menggunakan sebagian kecil indeks yang relevan sebagai acuan *Region of Interest* (ROI), yaitu enam indeks untuk ROI hidung (indeks 1, 2, 4, 98, 327, dan 168) serta enam indeks untuk ROI

mulut (indeks 0, 13, 14, 17, 78, dan 308). Pemilihan indeks ini didasarkan pada posisi titik-titik tersebut yang secara konsisten berada pada area jalur utama aliran napas, baik dari hidung maupun mulut, sehingga representatif untuk digunakan sebagai titik acuan ekstraksi suhu pada tahap selanjutnya.



Gambar 4. 11 titik-titik penting pada hidung dan mulut

Gambar 4.14 menampilkan koordinat *landmark* yang diperoleh dari MediaPipe Face Mesh berada dalam bentuk nilai ternormalisasi, sehingga perlu dikonversi ke koordinat piksel agar dapat digunakan untuk mengambil nilai suhu pada *frame* termal. Konversi dilakukan dengan mengalikan nilai x ternormalisasi terhadap lebar *frame* (160 piksel) dan nilai y ternormalisasi terhadap tinggi *frame* (120 piksel), mengikuti persamaan 4.2

$$x_{px} = x_{norm} \times 160 ; \quad y_{px} = y_{norm} \times 120 \quad (4.2)$$

Berikut merupakan keterangan dari masing-masing index landmark yang ada pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Landmark index pada ROI hidung dan ROI mulut

No	Index titik titik wajah	ROI	Fungsi
1	1,2,4	Hidung	Titik tengah dan ujung hidung

2	98, 327	Hidung	Sisi kiri-kanan lubang hidung
3	168	Hidung	Titik pangkal hidung
4	0, 13	Mulut	Titik Tengah bibir atas bawah
5	14 , 17	Mulut	Titik tepat area mulut bawah
6	73 , 308	Mulut	Sudut kiri-kanan mulut

4.1.2.4 Implementasi Ekstraksi suhu ROI

Output dari proses sebelumnya berupa koordinat *landmark* wajah berhasil diperoleh dari *MediaPipe Face Landmark*, tahap selanjutnya adalah mengekstraksi nilai suhu pada dua *Region of Interest* (ROI) yang menjadi fokus analisis, yaitu ROI hidung dan ROI mulut. Batas ROI hidung ditentukan melalui dua tahap perhitungan geometris. Pertama, titik tengah horizontal ROI dihitung sebagai titik tengah dari koordinat piksel lubang hidung kiri dan lubang hidung kanan. Kedua, skala vertikal wajah dihitung sebagai selisih jarak antara koordinat piksel landmark ujung hidung dan pangkal hidung, yang merepresentasikan ukuran proporsional wajah pada frame tersebut. Sehingga area ROI berukuran tetap 20×20 piksel dapat diposisikan tepat pada area lubang hidung.

Batas ROI mulut ditentukan dengan mekanisme yang sama lebar ROI dihitung secara dinamis dari jarak horizontal antara koordinat piksel landmark sudut kiri mulut dan sudut kanan mulut, sementara posisi vertikal ROI mengacu pada koordinat piksel landmark bibir atas dan bibir bawah. Pendekatan geometris dinamis ini menghitung ukuran dan posisi ROI berdasarkan jarak antar-landmark pada tiap frame, bukan koordinat piksel tetap.

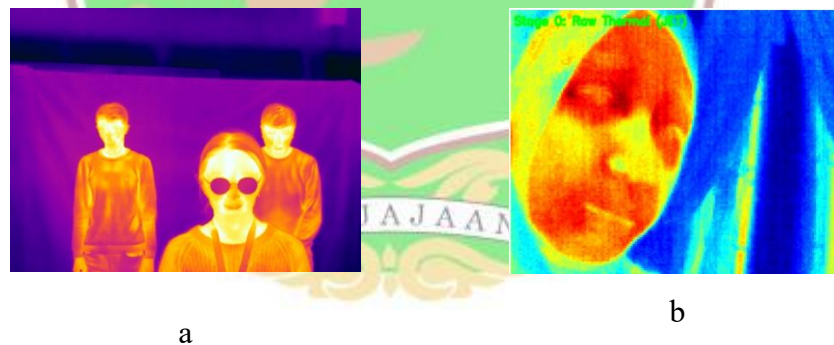
4.1.2.5 Implementasi pemrosesan sinyal

Nilai yang didapat dari tahapan sebelumnya yaitu tahap ekstraksi suhu ROI tidak dapat langsung digunakan sebagai dasar klasifikasi karena masih terdapat banyak

noise. Oleh karena itu, diperlukan tahap pemrosesan sinyal yang meliputi penetapan parameter klasifikasi (*threshold*), penghalusan sinyal (EMA), penentuan kapasitas *buffer*, dan mekanisme stabilisasi label (*voting*). Seluruh parameter pada tahap ini ditentukan melalui proses kalibrasi berbasis data empiris, sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

a. Pengumpulan dataset

Terdapat perubahan dataset yang digunakan, pada sub bab 3.2.2.2 dataset yang digunakan adalah dataset sekunder yaitu dataset SF-TL54. Namun setelah dipelajari lebih lanjut dataset ini menggunakan kamera termal yang memiliki kualitas lebih baik pada aspek FOV dan resolusi dibandingkan dengan kamera termal yang digunakan pada sistem (Flir lepton 3.5). Ketidaksesuaian ini membuat tahap deteksi wajah sulit dilakukan jika dataset yang digunakan adalah dataset SF-TL54. Alasan lainnya adalah pada dataset SF-TL54 gambar termal tidak fokus pada satu subjek, pada satu frame terdiri dari banyak orang. Hal ini juga tidak sesuai dengan sistem karena sistem diimplementasikan untuk fokus pada satu subjek dalam satu sesi pemantauan. Perbandingan gambar termal antara yang ada pada dataset SF-TL54 dengan hasil gambar termal yang dihasilkan Flir lepton 3.5 dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5 perbandingan gambar termal

Oleh karena itu pengambilan dataset primer yang melibatkan 8 orang anak yang berusia 6-9 tahun. Subjek 1 merupakan anak laki-laki usia 8 tahun, subjek kedua merupakan anak laki-laki usia 6 tahun, subjek ketiga merupakan anak perempuan usia 8 tahun, subjek keempat merupakan anak perempuan usia 9 tahun, subjek kelima merupakan anak laki-laki usia 6 tahun, subjek keenam merupakan anak laki-laki usia 7 tahun, subjek ketujuh merupakan anak perempuan usia 6 tahun dan subjek kedelapan merupakan anak laki-laki usia 9 tahun. Setiap subjek diminta

untuk menghadap ke kamera termal yang sudah dalam posisi tetap. Lalu dijalankan script untuk merekam masing-masing mode pernafasan subjek tersebut. Terdapat dua sesi yaitu sesi untuk merekam saat subjek bernafas dengan hidung lalu sesi kedua saat subjek bernafas dengan mulut, masing-masing sesi dilakukan selama 2 menit. Lalu data tersebut disimpan kedalam format csv yang dapat dilihat pada lampiran.

b. Pengolahan dataset

Setelah dataset dari 8 subjek tadi didapatkan, data untuk masing-masing mode pernafasan seluruh subjek digabungkan sehingga didapatkan 2900 frame data yang terdiri dari 1450 frame pernafasan mulut dan 1450 frame pernafasan hidung. Pada tabel 4.2 merupakan cuplikan dari dataset yang digunakan

Tabel 4. 2 Cuplikan Dataset

Rata-rata suhu hidung	Rata-rata suhu mulut	Standar Deviasi area mulut	Standar deviasi area hidung
38.1094	38.4076	0.5674	0.3721
38.0915	38.4394	0.5393	0.3766
38.0342	38.4172	0.5346	0.3814
37.9879	38.3847	0.5277	0.3767
38.05	38.4072	0.5433	0.3727
38.1343	38.3825	0.5895	0.3604
38.1259	38.3853	0.6059	0.3593
38.1166	38.397	0.6092	0.3667
38.1892	38.4129	0.6123	0.3627
38.1969	38.4067	0.5867	0.3759
38.2011	38.4115	0.5811	0.3775
38.134	38.4536	0.5512	0.3835
38.1987	38.3847	0.5843	0.3932
38.1938	38.3657	0.5856	0.4168
38.1568	38.3666	0.6364	0.3751
38.1177	38.3388	0.6145	0.3769
38.0546	38.3297	0.5838	0.3918
38.0992	38.3342	0.5861	0.3832
38.0985	38.3486	0.5581	0.4171
38.0903	38.4013	0.5279	0.4098
38.1125	38.3667	0.5534	0.393

1. Proses mengurangi *noise*

Sebelum nilai standar deviasi area mulut bisa digunakan untuk menentukan ambang batas klasifikasi. Nilai tersebut terlebih dahulu melewati proses reduksi *noise* menggunakan metode *Exponential Moving Average* (EMA). Tanpa proses ini *noise* seperti pergerakan kepala subjek atau perubahan pencahayaan akan berpengaruh pada proses klasifikasi nantinya. Perhitungan EMA dilakukan menggunakan persamaan 2.2. Pada persamaan tersebut nilai α adalah 0,3 sesuai dengan rancangan proses pada bab 3.2.3. setiap nilai standar deviasi mulut dan hidung yang sudah melalui proses reduksi *noise* ini nantinya digunakan pada tahap penentuan threshold.

2. Penentuan Threshold

Penentuan awal nilai threshold diperoleh dari 4 subjek dimana subjek pertama merupakan anak laki-laki usia 8 tahun, subjek kedua anak laki-laki usia 6 tahun, subjek ketiga anak perempuan usia 8 tahun dan anak laki-laki usia 7 tahun. Dari 4 subjek tersebut diperoleh data untuk masing-masing mode pernafasan adalah 450 baris. Cuplikan data dapat dilihat pada tabel 4.2. Sebelum menentukan kandidat nilai ambang batas, dilakukan analisis distribusi nilai standar deviasi area mulut secara terpisah untuk kedua kelompok, untuk nilai standar deviasi mode pernafasan mulut lebih besar dibandingkan dengan mode pernafasan hidung. Penentuan kandidat nilai ambang batas dilakukan dengan mengidentifikasi rentang tumpang-tindih (*overlap zone*) antara kedua distribusi, yaitu rentang nilai yang secara bersamaan dapat ditempati oleh anggota kedua kelompok. Pendekatan ini mengacu pada prinsip bahwa nilai ambang batas (threshold) yang bermakna secara statistik untuk klasifikasi biner hanya perlu dicari pada rentang tumpang-tindih antar dua distribusi. Rentang tumpang-tindih pada dataset ini diperoleh dari nilai maksimum dari kedua nilai minimum kelompok hingga nilai minimum dari kedua nilai maksimum kelompok, Threshold yang dihasilkan dari perhitungan ini ada pada rentang 0.5 hingga 0.7. untuk mendapatkan nilai threshold sistem ketiga nilai tersebut, yaitu 0.5, 0.6 dan 0.7 dibandingkan menggunakan matriks klasifikasi seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 3 Kandidat treshhold

THR	TP	FP	TN	FN	Akurasi	presisi	recall	F1-score
0.5	293	71	379	157	74.7%	80.5%	65.1%	72.5%
0.6	182	6	444	268	69.6%	96.8%	40.4%	57.1%
0.7	140	0	450	310	65.6%	100%	31.1%	47.5%

Pada nilai ambang batas 0,5, sistem mencapai akurasi tertinggi di antara ketiga kandidat 74,7% dengan *trade-off* yang relatif seimbang antara presisi 80,5% dan *recall* 65,1%, tercermin dari F1-score tertinggi di antara ketiganya 72,5%. Pada nilai ambang batas 0,6, jumlah *false positive* menurun signifikan menjadi 6 kasus, namun dengan konsekuensi penurunan *recall* menjadi 40,4% dan *F1-score* menjadi 57,1%. Pada nilai ambang batas 0,7, sistem menghasilkan presisi sempurna 100% dengan nol kasus *false positive*. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan untuk menjadikan 0.7 sebagai treshhold sistem. Namun, kasus *False negative* pada nilai ini paling tinggi, sehingga untuk meminimalisir dan menghasilkan treshhold yang lebih general untuk seluruh subjek digunakan metode *cross validation* tepatnya metode LOSO-CV. Nilai dari rata-rata suhu hidung dan mulut didapatkan dari persamaan 2.1 dan nilai standar deviasi suhu area hidung dan mulut didapatkan dari persamaan 2.3. Pengolahan dataset dilakukan menggunakan metode *Leave One Subject Out Cross Validation* atau biasa disebut LOSO-CV. Proses LOSO-CV dilakukan dengan membagi 8 subjek kalibrasi menjadi 8 iterasi (*fold*). Pada setiap iterasi, tujuh subjek digunakan sebagai data pelatihan untuk menentukan nilai threshold optimal melalui analisis kurva *Receiver Operating Characteristic (ROC)* dan Youden's J statistic. Sedangkan satu subjek yang tersisa digunakan sebagai data validasi yang sama sekali tidak dilibatkan dalam proses penentuan threshold pada iterasi tersebut. Prosedur ini diulang hingga setiap subjek pernah berperan sebagai data validasi tepat satu kali. Hasil dari prosedur LOSO ini ditampilkan pada tabel 4. 3

Tabel 4. 3 Hasil LOSO

Subjek	Treshold Fold	AUC Training	Akurasi	Sensitivitas	Spesifitas
A03	0.561	0.705	99,3 %	98,7%	100%
B01	0.557	0.755	85,2%	82,4%	88,0%
B02	0.561	0.765	75,0%	71,5%	78,5%
C01	0.561	0.768	83,9%	86,3%	81,5%
C02	0.491	0.761	79,4%	75,6%	83,2%
C03	0.561	0.761	82,7%	79,4%	87,3,0%
C04	0.561	0.735	92,8%	94,2%	91,4%
C05	0.561	0.791	80,2%	77,8%	82,7%
Rata-rata	0.554	0.754	84,5%	83,8%	86,2%

Sensitiivitas merujuk pada kemampuan sistem untuk mendeteksi dengan benar pernapasan mulut. Untuk mendapatkan nilai sensitivitas digunakan persamaan 4.3

$$\text{Sensitivitas} = \frac{TP}{TP + FN} \quad 4.3$$

TP maksudnya adalah *True Positive* yaitu jumlah *frame* pernapasan mulut yang diprediksi benar. FN(*False Negative*) *frame* dari pernapasan mulut yang salah diprediksi. Spesifitas maksudnya adalah kemampuan sistem untuk melakukan klaisifikasi dengan benar terhadap pernapasan hidung. Untuk mendapatkan nilai spesifitas digunakan persamaan 4.4

$$\text{Spesifisitas} = \frac{TN}{TN + FP} \quad 4.4$$

True Negative (TN) yaitu jumlah *frame* pernapasan hidung yang diprediksi benar. Sedangkan *False Positive* (FP) yaitu jumlah *frame* dari pernapasan hidung yang

salah diprediksi. Nilai dari Threshold Fold didapatkan dari persamaan 4.5 dimana T_s adalah *Threshold fold*

$$J(T) = \text{Sensitivity}(T) + \text{Specificity}(T) - 1$$

$$T_s = \arg \max_T J(T) \quad 4.5$$

Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan nilai threshold yang relatif stabil antar-fold, dengan rata-rata sebesar 0,5548 dan median 0.561. Performa klasifikasi pada data validasi menghasilkan akurasi rata-rata sebesar 84,5% , sensitivitas rata-rata adalah 83,3% dan spesifitas 86,3%. Berdasarkan metode ini *Threshold* akhir dari sistem adalah 0.561 dengan AUC 0.754.

c. Penentuan kapasitas rolling buffer

Rolling buffer adalah variabel yang menyimpan sejumlah nilai hasil ekstraksi suhu pada ROI terbaru dengan kapasitas tetap, di mana setiap kali nilai baru masuk, nilai yang paling lama secara otomatis dikeluarkan dari struktur tersebut. Rolling buffer pada sistem ini diperlukan karena suhu yang ditangkap oleh kamera bersifat fluktuatif maka diperlukan variable untuk menampung sekelompok nilai suhu ROI yang menjadi dasar perhitungan standar deviasi seperti yang tertera pada persamaan 2.3 dan 2.4

Kapasitas buffer adalah 16 *frame*. Penentuan kapasitas *rolling buffer* sebesar 16 *frame* pada sistem ini didasarkan pada beberapa pertimbangan yang saling berkaitan. Dasar utamanya adalah karakteristik fisiologis laju pernapasan anak, yaitu berkisar antara 12–30 siklus per menit (0,2–0,5 Hz), yang setara dengan durasi satu siklus napas penuh antara 2–5 detik. Ini menjadi dasar acuan awal dalam menentukan seberapa besar cakupan waktu yang perlu direpresentasikan oleh buffer, sejalan dengan kaidah pengambilan sampel sinyal periodik yang menyatakan bahwa jendela pengamatan harus proporsional terhadap frekuensi sinyal yang hendak dideteksi agar pola napas tidak hilang. emilihan kapasitas buffer juga mempertimbangkan keseimbangan antara responsivitas sistem dan kemampuan meredam *noise* sensor. Nilai 16 *frame*, yang pada kecepatan akuisisi aktual kamera termal sebesar $\pm 8,7$ *frame* per detik setara dengan jendela waktu

sekitar 1,8 detik sesuai untuk meredam noise dengan kemampuan komputasi pada Raspberry pi 5[29].

d. Proses klasifikasi mode pernapasan

Terdapat dua jenis pernapasan *mouth breathing* atau *nose breathing*, Jika nilai standar deviasi yang sudah melalui proses reduksi noise dibandingkan dengan nilai threshold yaitu 0.561. Jika nilai standar deviasi lebih besar dari threshold maka diklasifikasikan sebagai *mouth breathing*. namun jika lebih kecil dibandingkan dengan nilai threshold maka di klasifikasikan sebagai *nose breathing*. Pada sub bab 3.2.4 terdapat proses penghitungan rasio, namun variable ini tidak digunakan untuk menjadi parameter klasifikasi mode pernapasan karena cukup dengan threshold saja sistem sudah mampu untuk melakukan klasifikasi dengan baik. Yang terbukti pada pengujian spesifikasi poin 2.

e. Voting buffer dan stabilisasi label

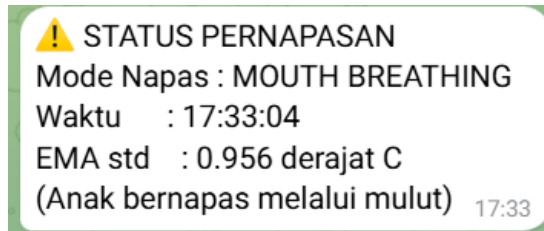
Untuk mencegah label (*mouth breathing* atau *nose breathing*) berubah-ubah karena frame yang tidak stabil, sistem ini menggunakan voting dengan menetapkan `vote_window` adalah 8 frame. Label hanya akan berubah apabila memenuhi minimal `vote threshold` nya 6 frame yang menyatakan satu label tertentu (*nose breathing* atau *mouth breathing*). Atau dengan kata lain label hanya berubah apabila minimal 6 dari 8 *frame* terakhir sepakat pada label yang sama. Sesuai yang sudah di rencanakan pada sub bab 3.2.3.3.

4.1.2.6 Implementasi notifikasi telegram dan peringatan buzzer

Setelah hasil klasifikasi mode pernapasan diperoleh dari tahap voting buffer informasi mode pernafasan ini diteruskan ke dua output yang berjalan secara paralel yaitu notifikasi telegram yang menyampaikan status pernafasan anak apakah sedang *mouth breathing* atau *nose breathing*. Dan output lainnya berupa buzzer yang akan aktif apabila wajah anak tidak terdeteksi.

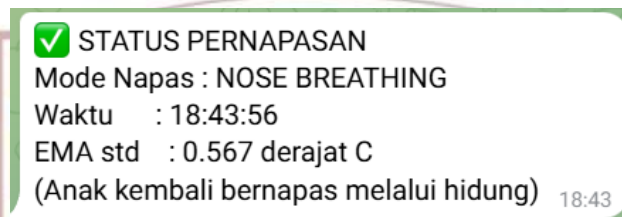
a. Notifikasi telegram

Notifikasi dikirim melalui telegram bot API, trigger dari notifikasi adalah perubahan status hasil voting buffer. Gambar 4.6 merupakan tampilan dari notifikasi sistem pada telegram



Gambar 4. 12 Notifikasi mouth breathing

Notifikasi ini akan terkirim apabila selama 3 menit mode pernafasan anak yang dominan adalah mouth breathing. Sedangkan gambar 4.7 merupakan notifikasi dari mode pernafasan nose breathing.

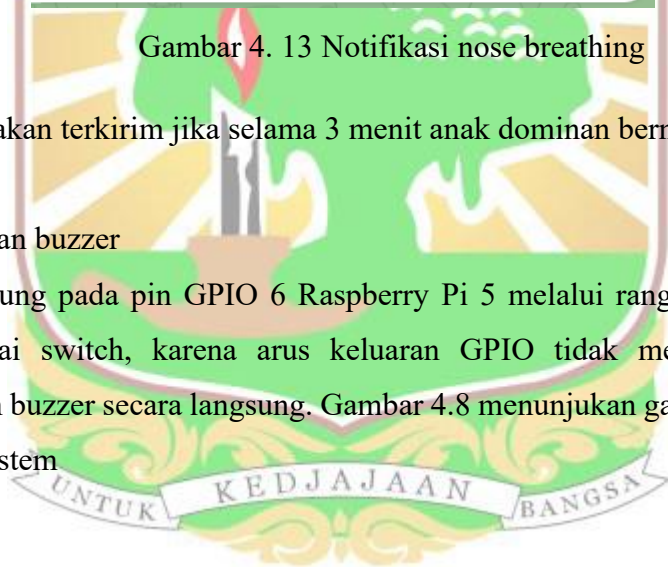


Gambar 4. 13 Notifikasi nose breathing

Notifikasi ini akan terkirim jika selama 3 menit anak dominan bernafas melalui hidung.

b. Peringatan buzzer

Buzzer terhubung pada pin GPIO 6 Raspberry Pi 5 melalui rangkaian transistor BC547 sebagai switch, karena arus keluaran GPIO tidak mencukupi untuk menggerakkan buzzer secara langsung. Gambar 4.8 menunjukkan gambar rangkaian buzzer pada sistem





Gambar 4. 14 Rangkaian buzzer

Pada implementasi sistem buzzer akan aktif apabila kondisi wajah tak terdeteksi terjadi, kondisi dimana MediaPipe Face Landmarker gagal mendeteksi wajah pada frame yang diproses. Kondisi ini dapat terjadi misalnya karena anak bergerak keluar dari bidang pandang kamera, posisi wajah tidak menghadap kamera. Berikut merupakan rangkuman dari setiap tahapan implementasi sistem dan metode verifikasi untuk masing-masing tahapan tersebut.

a. Akuisisi citra termal dan *preprocessing*

Tahap pertama adalah akuisisi citra thermal, yaitu implementasi pipeline GStreamer dengan format GRAY16_LE untuk membaca data mentah dari kamera FLIR Lepton 3.5 melalui PureThermal Mini. Tahap ini diverifikasi melalui pengukuran *Noise Equivalent Temperature Difference* (NETD), dengan hasil 74,8 mK yang berada dalam spesifikasi target di bawah 100 mK. Setelah citra mentah berhasil diakuisisi, tahap kedua adalah preprocessing citra, mencakup percentile clipping, *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), dan konversi ke pseudo-RGB, agar citra thermal dapat diproses oleh model deteksi wajah yang dirancang untuk citra RGB biasa. Keberhasilan tahap ini diverifikasi melalui inspeksi visual pada hasil konversi, untuk memastikan kontras wajah cukup jelas sehingga landmark dapat terdeteksi.

b. Deteksi wajah dan titik-titik penting pada area hidung dan mulut

Menggunakan MediaPipe Face Landmarker untuk menentukan posisi 468 titik landmark wajah, dilanjutkan dengan ekstraksi bounding box pada area hidung dan mulut. Verifikasi dilakukan dengan overlay landmark pada frame sampel dari subjek, untuk memastikan ROI jatuh tepat pada area anatomis yang dituju.

c. Tahap pemrosesan suhu

Menghitung fitur seperti nilai simpangan baku untuk area hidung dan mulut, lalu menggunakan metode LOSO -CV untuk mendapatkan nilai threshold pada sistem. Metode verifikasi dari nilai threshold itu terdapat pada metode LOSO-CV itu sendiri.

d. Notifikasi dan output sistem

Notifikasi akan dikirimkan setiap 3 menit yang diverifikasi waktu tiap pengiriman notifikasi pada telegram

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh bagian dari sistem baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunak dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian ini disusun berdasarkan verifikasi komponen yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Aspek yang diuji meliputi, Tingkat ketelitian pembacaan suhu kamera termal, klasifikasi mode pernafasan dengan akurasi 80%, mendeteksi kecenderungan mouth breathing dalam waktu observasi 10 menit, pengiriman notifikasi jika terdeteksi mouth breathing.

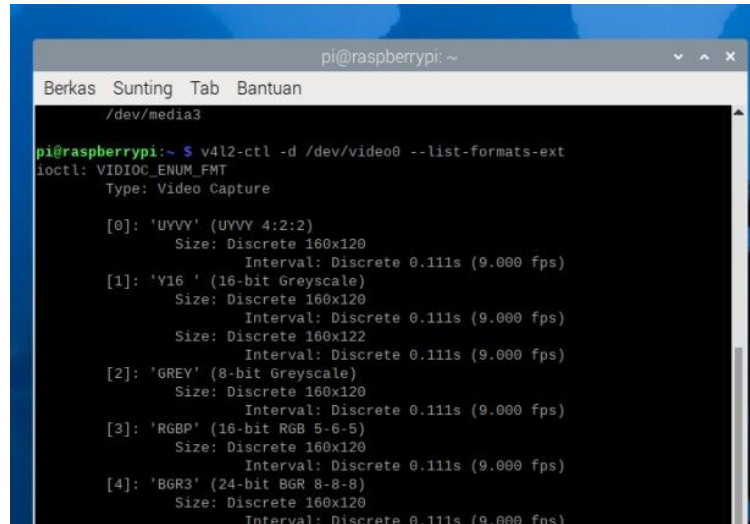
4.2.1 Pengujian kemampuan deteksi citra dengan dengan resolusi 160x120 pixel dan NETD <100mK

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi ketelitian (NETD) pembacaan suhu kamera FLIR Lepton 3.5. Pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan fitur radiometry yang ada pada kamera ini. Fitur ini memungkinkan user mengetahui suhu objek yang dihadapkan pada kamera.

4.2.1.1 Langkah pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan kamera FLIR Lepton 3.5 sebagai perangkat utama dalam membaca suhu objek. Suhu aktual diukur menggunakan

thermometer. Sebelum pengujian ketelitian pembacaan suhu dilakukan terlebih dahulu dilakukan verifikasi terhadap resolusi kamera FLIR Lepton 3.5. Verifikasi dilakukan menggunakan perintah `v4l2-ctl -d /dev/video0 --list-formats-ext` pada terminal Raspberry Pi 5, yang menampilkan seluruh format video yang didukung oleh perangkat kamera. Hasil verifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.9



```
pi@raspberrypi:~$ v4l2-ctl -d /dev/video0 --list-formats-ext
ioctl: VIDIOC_ENUM_FMT
Type: Video Capture

[0]: 'UYVY' (UYVY 4:2:2)
    Size: Discrete 160x120
        Interval: Discrete 0.111s (9.000 fps)
[1]: 'Y16 ' (16-bit Greyscale)
    Size: Discrete 160x120
        Interval: Discrete 0.111s (9.000 fps)
[2]: 'GREY' (8-bit Greyscale)
    Size: Discrete 160x120
        Interval: Discrete 0.111s (9.000 fps)
[3]: 'RGBP' (16-bit RGB 5-6-5)
    Size: Discrete 160x120
        Interval: Discrete 0.111s (9.000 fps)
[4]: 'BGR3' (24-bit BGR 8-8-8)
    Size: Discrete 160x120
        Interval: Discrete 0.111s (9.000 fps)
```

Gambar 4. 15 informasi resolusi dan FPS FLIR lepton 3.5

Dari gambar 4.6 didapatkan bahwa resolusi dari kamera FLIR Lepton 3.5 adalah 160x120 sesuai dengan poin spesifikasi yang sudah ditetapkan. Format Y16 pada level driver V4L2 ini setara dengan format GRAY16_LE pada level GStreamer yang digunakan dalam *pipeline* akuisisi sistem, dan merupakan format radiometrik yang memungkinkan pembacaan nilai suhu per piksel. Setelah verifikasi resolusi dan FPS dari kamera dilakukan, kemudian dilakukan pengujian terhadap NETD yang mengacu pada ukuran sensitivitas suhu pada kamera termal yang menunjukkan perbedaan suhu terkecil yang bisa dideteksi oleh alat tersebut. Alat yang dibutuhkan dalam pengujian ini yaitu Kamera Flir Lepton 3.5 berserta dengan *thermal board*, Raspberry pi 5 sebagai unit pemrosesan dan akuisisi data, script untuk memvalidasi nilai NETD dari kamera dan target pengujian NETD berupa benda yang terbuat dari aluminium atau besi yang dilapisi oleh cat hitam. Pada pengujian ini benda yang digunakan adalah tripod berwarna hitam. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang terdapat pendingin ruangan yang tetap menyala selama pengujian.

Prosedur pengujian kamera Flir Lepton 3.5 yaang sudah terpasang pada *thermal board* di hubungkan ke Raspberry pi 5. Lalu kamera dibiarkan terhubung dengan Raspi selama 20 menit untuk mencapai kondisi ideal untuk pembacaan NETD pada benda target. Tangkai tripod ditempatkan pada jarak 10 cm dari kamera, kemudian setelah 20 menit script validasi NETD dijalankan dan kamera menangkap sebanyak 100 *frames* ROI pada bagian tertentu dari benda target. Untuk setiap pixel pada ROI dihitung standar deviasi nilai suhu sepanjang 100 frames, kemudian dirata-ratakan menjadi satu nilai NETD . Persamaan yang digunakan adalah persamaan 4.5

$$NETD_{\circ C} = \frac{1}{M} \sum_{(x,y) \in ROI} \sigma(x,y) \quad (4.5)$$

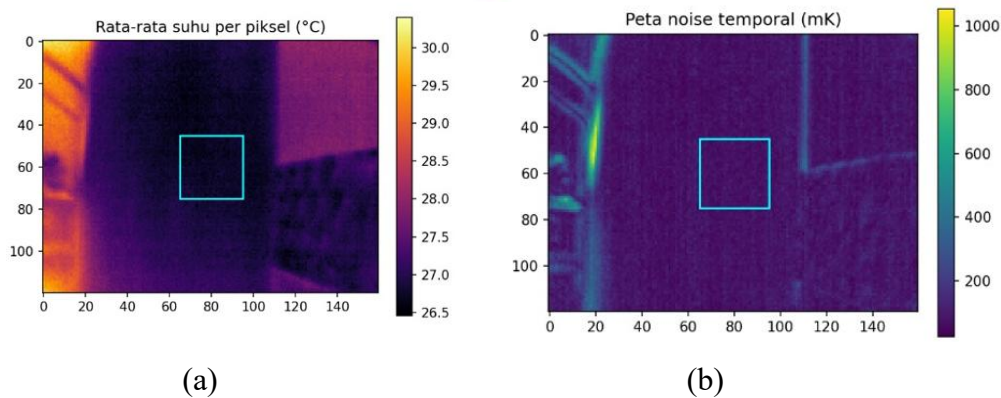
M adalah jumlah total pixel didalam ROI, $\sigma(x,y)$ adalh standar deviasi pada frames.

Persamaan 4.5 dalam satuan celcius maka diperlukan persamaan 4.6 untuk mengubah nilai NETD kedalam satuan mK

$$NETD_{mK} = NETD_{\circ C} \times 1000 \quad (4.6)$$

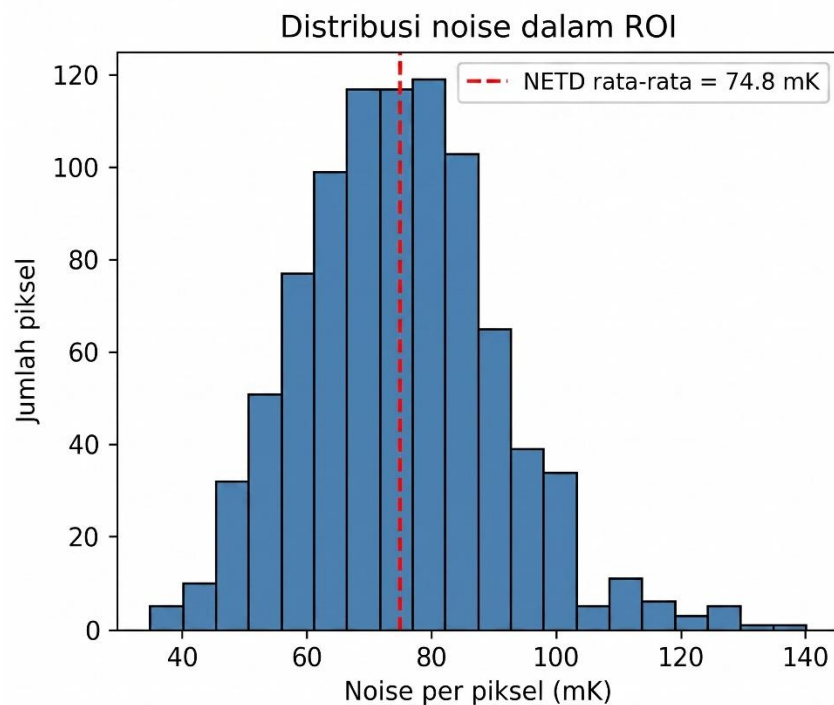
4.2.1.2 Hasil pengujian

Hasil pengujian pendeteksian NETD ditunjukkan pada gambar 4. 16(a) menunjuka rata-rata suhu per pixel dan gambar 4.16(b) menunjukkan noise temporal pada pengujian.



Gambar 4.16 rata- rata suhu per pixel dan noise pada target uji

Area dengan nilai noise yang jauh lebih tinggi (ditandai warna hijau-kuning terang) di sekitar tepi kiri dan pada satu garis vertikal di bagian kanan-tengah frame. Gambar 4.17 menunjukkan sebaran frekuensi noise seluruh pixel dalam ROI.



Gambar 4. 17 Distribusi noise dalam ROI

Nilai NETD empiris yang diperoleh dari rata-rata standar deviasi seluruh piksel dalam ROI adalah 74,8 mK.

4.2.1.3 Analisa hasil pengujian

Berdasarkan gambar 4.16 area yang memiliki nilai noise lebih tinggi tersebut diinterpretasikan sebagai tepi struktural objek dan/atau sambungan pada tangkai tripod yang menghasilkan variasi sinyal non-acak, bukan derau sensor murni, sehingga ROI sengaja ditempatkan pada area homogen di tengah frame yang bebas dari pengaruh tepi struktural tersebut. Gambar 4.17 menunjukkan sebaran yang secara umum terpusat pada rentang 60–90 mK, dengan sebagian kecil piksel menunjukkan nilai noise lebih tinggi hingga mendekati 140 mK. Nilai NETD empiris (74,8 mK). Sesuai dengan yang tertera pada spesifikasi pertama yaitu mampu mendeteksi citra termal dengan resolusi 160x120 yang terbukti pada gambar 4.15 dan NETD <100mK yang juga terbukti melalui gambarr 4.17.

4.2.2. Pengujian Spesifikasi Mampu membedakan pernafasan melalui mulut atau hidung dengan akurasi >80%

Pengujian kemampuan sistem untuk membedakan pernafasan hidung dan mulut
Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem untuk dapat membedakan mode pernafasan hidung dan mulut.

4.2.1.1 Langkah pengujian

Pengujian akurasi klasifikasi dilakukan melalui protokol klinis yang melibatkan dokter gigi anak yang berperan untuk melakukan validasi terhadap kemampuan sistem untuk klasifikasi pernafasan. Subjek diposisikan 10 cm dari kamera termal, lalu kemudian sistem diaktifkan. Pengujian melibatkan 6 responden yaitu responden pertama seorang anak laki-laki usia 7 tahun yang sudah diverifikasi oleh dokter memiliki indikasi mouth breathing, dan responden ke-dua seorang anak laki-laki usia 6 tahun. Responden ketiga adalah anak laki-laki usia 9 tahun, responden ke-tiga adalah anak laki-laki usia 6 tahun. Responden ke-empat adalah anak Perempuan usia 8 tahun, Responden ke-lima adalah anak laki-laki usia 8 tahun dan Responden ke-enam adalah anak laki-laki usia 9 tahun. Lima responden lain adalah anak dengan pola pernafasan normal (*nose breathing*). Para responden diminta menghadapkan wajah sejajar dengan kamera selama 3 menit. selama sesi berlangsung, dengan setiap frame valid dicatat ke berkas log CSV meliputi timestamp, nilai std_mouth mentah, nilai EMA, status voting buffer, dan label stabil hasil klasifikasi sistem. Pengujian yang memiliki 6 responden merupakan pengujian sistem dengan threshold 0.7 sedangkan untuk threshold 0.561 diujikan kepada 4 responden. Responden 1 merupakan anak laki-laki usia 9 tahun, responden 2 merupakan anak laki-laki usia 6 tahun, responden 3 merupakan anak perempuan usia 8 tahun, responden. Kondisi ruangan saat sistem diujikan kepada responden 1 adalah didalam ruangan yang pencahayaannya hanya dari lampu dan tanpa ada kipas angin di ruangan tersebut. untuk responden 2 diujikan pada keadaan ruangan yang memiliki terkena cahaya matahari dan kipas menyala pada ruangan tersebut namun dengan jarak yang tidak dekat dengan subjek. Untuk responden 3 kondisi ruangnya adalah dalam ruangan yang memiliki AC.

4.2.1.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian klasifikasi terhadap dua responden ditampilkan pada tabel 4.5 dan 4.6 berikut

Tabel 4. 4 Hasil pengujian responden 1

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	treshol d	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
20	0.925	0.964	0.7	7	1	mouth
30	0.921	1.632	0.7	8	0	mouth
40	0.523	0.531	0.7	3	5	mouth
50	1.074	0.903	0.7	5	3	nose
60	1.017	1.245	0.7	8	0	mouth
70	1.473	1.253	0.7	8	0	mouth
80	0.663	0.854	0.7	8	0	mouth
90	1.339	1.169	0.7	8	0	mouth
100	0.68	0.825	0.7	8	0	mouth
110	1.501	1.401	0.7	8	0	mouth
120	0.954	0.962	0.7	8	0	mouth
130	0.993	1.144	0.7	8	0	mouth
140	0.919	0.929	0.7	8	0	mouth
150	1.049	0.977	0.7	8	0	mouth
160	1.74	1.583	0.7	8	0	mouth
170	1.069	1.001	0.7	8	0	mouth
180	1.531	1.24	0.7	8	0	mouth

Responden 1 merupakan anak yang terindikasi mouth breathing oleh dokter. Sedangkan hasil pengujian responden 2 dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Responden 2

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	treshol d	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
380	0.557	0.528	0.7	1	7	nose
390	0.374	0.474	0.7	3	5	nose
400	0.545	0.483	0.7	0	8	nose
410	0.633	0.384	0.7	0	8	nose
420	0.579	0.551	0.7	0	8	nose
430	0.55	0.521	0.7	0	8	nose
440	0.52	0.513	0.7	0	8	nose
450	0.528	0.551	0.7	0	8	nose
460	0.484	0.49	0.7	0	8	nose
470	0.612	0.487	0.7	0	8	nose
480	0.544	0.469	0.7	0	8	nose
490	0.547	0.518	0.7	0	8	nose
500	0.564	0.55	0.7	0	8	nose
510	0.544	0.547	0.7	0	8	nose
520	0.775	0.714	0.7	1	7	nose
530	0.607	0.627	0.7	4	4	mouth
540	0.805	0.718	0.7	1	7	nose
550	0.82	0.816	0.7	8	0	mouth

Tabel 4.3 dan table 4.4 berisi cuplikan data dari pengujian kedua responden

Table 4.3 dan table 4.4 merupakan data dari record sistem saat menghadap ke kamera selama 3 menit. **Kemudian untuk melakukan validasi kebenaran dari klasifikasi yang dilakukan oleh sistem digunakan verifikasi oleh dokter spesialis gigi anak. Selama proses pengujian berlangsung dokter melakukan observasi terhapa mode pernafasan anak dan ini yang dijadikan sebagai ground truth dari klasifikasi sistem. Ringkasan hasil klasifikasi kedua subjek ditampilkan pada tabel 4.7**

Tabel 4. 6Ringkasan Informasi tabel 4.6 dan 4.7

Subjek	Verifikasi kondisi	Jumlah frame	Frame terklasifikasi benar	Akurasi per subjek
Responden 1	Mouth breathing	141	129	91,49%
Responden 2	Nose breathing	118	94	79,66%
Responden 3	Mouth breathing	145	118	81,38%
Responden 3	Nose breathing	130	121	93,08%
Responden 4	Nose breathing	142	121	85,21%
Responden 4	Mouth breathing	123	103	83,74%
Responden 5	Nose breathing	112	84	75,0%
Responden 5	Mouth breathing	120	99	82,50%
Responden 6	Nose breathing	123	104	84,55%
Responden 6	Mouth breathing	115	104	90,43%

Untuk menentukan akurasi per subjek digunakan persamaan 4.3

$$\begin{aligned}
 & \text{Akurasi} \\
 &= \frac{\text{frame terklasifikasi benar}}{\text{jumlah frame valid}} \times 100\% \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Tabel 4.8 merupakan confusion matrix gabungan dari kedua subjek

Tabel 4. 7 Informasi Confusion Matrix

Kelas	precision	recall	F1-score	Jumlah frame valid
Mouth	86,74 %	83,86%	85,28%	663
Nose	82,96 %	85,97%	84,44%	606
				1269

Precision merupakan persentase prediksi benar dari masing-masing klasifikasi. Untuk menghitung presisi digunakan persamaan 4.4

$$Precision = \frac{True\ positive}{True\ Positive + false\ Positive} \times 100 \quad (4.4)$$

Recall bisa disebut juga sebagai sensitivity artinya, dari seluruh frame actual berapa persen yang berhasil dideteksi sistem. Untuk menghitung recall digunakan persamaan 4.5

$$Recall = \frac{True\ positive}{True\ Positive + false\ Negative} \times 100\% \quad (4.5)$$

F1-score adalah rata-rata harmonic dari precision dan recall. Nilai f1-score didapatkan dari persamaan 4.6

$$f1 - score = 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall} \times 100\% \quad (4.6)$$

Setelah nilai precision, recall dan F1-score didapatkan maka dapat dihitung akurasi keseluruhan menggunakan persamaan 4.7

$$Akurasi\ all = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (4.7)$$

Keterangan :

TP : true positive

TN : true negative

FP : false positive

FN : false negative

Hasil pengujian sistem dengan threshold 0.561 dapat dilihat pada tabel 4.8

Tabel 4. 8 Responden 1 mouth breathing

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	threshold	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
10	1.135	1.083	0.561	7	1	mouth
20	1.157	1.125	0.561	7	1	mouth
30	0.973	0.904	0.561	6	2	mouth
40	1.23	1.176	0.561	7	1	mouth
50	0.878	0.883	0.561	8	0	mouth
60	1.123	1.096	0.561	8	0	mouth
70	1.207	1.25	0.561	8	0	mouth
80	1.296	1.201	0.561	7	1	mouth
90	0.831	0.879	0.561	7	1	mouth
100	0.793	0.783	0.561	4	4	nose
110	1.174	1.172	0.561	8	0	mouth
120	1.044	1.031	0.561	7	1	mouth
130	0.842	0.84	0.561	3	5	nose

Kondisi ruangan yang pencahayaannya hanya dari lampu dan tanpa ada kipas angin di ruangan tersebut.

Tabel 4. 9 responden 1 nose breathing

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	threshold	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
40	0.661	0.4275	0.561	8	0	mouth
50	0.652	0.4113	0.561	3	5	mouth
60	0.653	0.4274	0.561	0	8	nose
70	0.645	0.4279	0.561	0	8	nose
80	0.702	0.4107	0.561	0	8	nose
90	0.65	0.4252	0.561	0	8	nose
100	0.589	0.4451	0.561	0	8	nose
110	0.595	0.4514	0.561	0	8	nose
120	0.556	0.4653	0.561	0	8	nose
130	0.573	0.4336	0.561	0	8	nose
140	0.682	0.4596	0.561	0	8	nose
150	0.555	0.4739	0.561	0	8	nose
160	0.641	0.4222	0.561	0	8	nose

170	1.676	0.4185	0.561	3	5	nose
180	1.206	0.4569	0.561	8	0	mouth

Berikut merupakan cuplikan data dari responden 2

Tabel 4. 10 responden 2

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	threshold	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
20	0.646	0.637	0.561	0	8	Mouth
30	0.607	0.615	0.561	0	8	mouth
40	0.576	0.621	0.561	0	8	nose
50	0.876	0.772	0.561	2	6	mouth
60	0.75	0.736	0.561	5	3	mouth
70	0.633	0.631	0.561	1	7	mouth
80	0.686	0.651	0.561	0	8	mouth
90	0.668	0.701	0.561	6	2	mouth
100	0.729	0.747	0.561	6	2	mouth
110	0.744	0.756	0.561	8	0	mouth
120	0.705	0.719	0.561	8	0	mouth
130	0.675	0.682	0.561	2	6	nose

Kondisi ruangan terkena cahaya matahari dan kipas menyala pada ruangan tersebut namun dengan jarak yang tidak dekat dengan subjek.

Tabel 4. 11 Responden 3 mouth breathing

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	threshold	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
30	0.625	0.625	0.7	0	8	nose
40	0.576	0.592	0.7	0	8	nose
50	0.611	0.605	0.7	0	8	nose
60	0.572	0.581	0.7	0	8	nose
70	0.586	0.585	0.7	0	8	nose
80	0.582	0.584	0.7	0	8	nose
90	0.572	0.581	0.7	0	8	nose
100	0.609	0.606	0.7	0	8	nose
120	0.622	0.624	0.7	0	8	nose
130	0.535	0.544	0.7	0	8	nose
140	0.579	0.573	0.7	0	8	nose
150	0.81	0.709	0.7	1	7	nose
160	0.668	0.64	0.7	3	5	mouth
170	0.618	0.625	0.7	0	8	nose

Kondisi ruangan pencahayaan dari lampu dan ruangan memiliki AC. Ringkasan

Informasi pengujian

Tabel 4. 12 Tabel akurasi per subjek

Subjek	Verifikasi kondisi	Jumlah frame	Frame terklasifikasi benar	Akurasi per subjek
Responden 1	Mouth breathing	680	640	94,1%
Responden 1	Nose breathing	730	710	96,06%
Responden 2	Nose breathing	580	550	97,41%
Responden 2	Mouth breathing	460	380	82,7%
Responden 3	Mouth breathing	640	510	79.7%
Responden 3	Nose breathing	760	730	95,21%

4.2.2.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan table 4.6 sistem mencapai akurasi keseluruhan saat threshold 0.7 adalah sebesar 84,87% dengan kondisi ruangan pencahayaan hanya dari lampu dan subjek tidak dekat dengan kipas angin, melampaui target spesifikasi $\geq 80\%$ yang ditetapkan. Karena threshold 0.7 itu kurang tepat dan setelah dilakukan pengolahan dataset menggunakan metode LOSO-CV didapatkan threshold yang sesuai adalah 0.561 maka pengujian dilakuka kembali dengan membedakan kondisi ruangan seperti yang dijelaskan pada tahapn Langkah pengujian. Hasil dari tabel 4.12 menunjukan kenaikan performa klasifikasi setelah threshold yang digunakan adalah 0.561. Akurasi keseluruhan yang didapatkan adalah 89.5% dengan presisi 92,21%, dan recall 86,72%. Kondisi ruangan memengaruhi hasil sistem karena saat berada diruangan yang terdapat AC akurais klasifikasi mouth breathing turun seperti yang terlihat pada tabel 4.12

4.2.2 Pengujian deteksi mendeteksi kecenderungan *mouth breathing* berdasarkan pemantauan thermal dalam rentang waktu observasi 10 menit

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem mempertahankan konsistensi klasifikasi *mouth breathing* pada durasi observasi 10 menit. Pengujian ini menilai stabilitas sistem sepanjang waktu apakah sistem tetap dapat mendeteksi kecenderungan pernapasan subjek secara benar meski durasi pengamatan diperpanjang

4.2.2.1 Langkah pengujian

Pada pengujian ini subjek diminta untuk duduk menghadapkan wajah ke kamera dengan jarak antara kamera dan subjek yaitu 10 hingga 15 cm. Kemudian perekaman dilakukan secara terus menerus selama 10 menit tanpa jeda. Setelah 10 menit maka informasi dalam format csv yang ditampilkan pada sub bab 4.2.3.2. sesi 10 menit tersebut dibagi menjadi 10 *window* waktu berdurasi 1 menit. Untuk setiap *window*, ditentukan label dominan (label yang paling sering muncul dalam rentang 1 menit tersebut), lalu dibandingkan dengan ground truth dari dokter. Kemudian dihitung persentase *window* yang terklasifikasi benar dari total 10 *window*. Dalam pengujian ini untuk validasi dari klasifikasi sistem dilakukan melalui observasi dari dokter dengan metode stopwatch di set dalam waktu 10 menit lalu untuk tiap menitnya dicatat mode pernafasan yang dilakukan oleh responden.

4.2.2.2 Hasil pengujian

Hasil pengujian yang ditampilkan berupa cuplikan dari data pengujian yang diambil dalam durasi 10 menit dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4. 13 cuplikan data observasi 10 menit

Frame ke-	Standar deviasi mulut	Standar deviasi minim noise	treshol d	Banyak klasifikasi mulut	Banyak klasifikasi hidung	klasifikasi stabil
70	1.152	1.076	0.7	7	1	nose
80	0.912	1.027	0.7	6	1	mouth
90	1.049	1.033	0.7	7	1	mouth
100	1.003	1.024	0.7	7	1	mouth
110	1.021	1.023	0.7	8	0	mouth
120	0.914	0.991	0.7	8	0	mouth
130	0.535	0.854	0.7	7	1	mouth
140	1.005	0.899	0.7	7	1	mouth
150	1.11	0.962	0.7	7	1	mouth
160	1.319	1.069	0.7	7	1	mouth
170	1.211	1.112	0.7	7	1	mouth
180	1.474	1.221	0.7	7	1	mouth
190	0.878	1.118	0.7	7	1	mouth
200	1.192	1.14	0.7	7	1	mouth

210	1.04	1.11	0.7	8	0	mouth
220	1.482	1.222	0.7	8	0	mouth

Data yang dari hasil observasi subjek yang dilakukan selama 10 menit ini di kemudian diolah sehingga menghasilkan informasi berupa tabel 4.10 hasil deteksi per window waktu.

Tabel 4. 14 hasil deteksi per window

window	Klasifikasi dominan	Ground truth	% frame mouth	status
Menit ke-1	Mouth	Mouth	87,2%	Benar
Menit ke-2	Mouth	Mouth	93,5%	Benar
Menit ke-3	Mouth	Mouth	100%	Benar
Menit ke-4	Mouth	Mouth	94,2%	Benar
Menit ke-5	Mouth	Mouth	99,1%	Benar
Menit ke-6	nose	Mouth	66,5%	Salah
Menit ke-7	Mouth	Mouth	88,2%	Benar
Menit ke-8	Mouth	Mouth	85,7%	Benar
Menit ke-9	Mouth	Mouth	79,4%	Benar
Menit ke-10	Mouth	Mouth	93,5%	Benar

Persentase frame mouth didapatkan dari persamaan 4.8 berikut

$$\%frame\ mouth = \frac{sum\ frame\ mouth\ dalam\ window}{total\ frame\ dalam\ window} \times 100\% \quad 4.8$$

4.2.3.3 Analisa hasil pengujian

Berdasarkan tabel 4.10 9 dari 10 window berhasil terklasifikasi dengan benar, melampaui kriteria minimum yang ditetapkan yaitu besar sama 70% . Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan konsistensi deteksi kecenderungan mouth breathing sepanjang durasi observasi 10 menit. Ditinjau lebih detail pada kolom %Frame Mouth, terlihat variasi antar window yang hamper seluruhnya dominan mouth kecuali pada menit ke 6 yang memiliki persentase 66,5%. Variasi ini konsisten dengan karakteristik pola napas anak yang secara klinis tidak sepenuhnya konstan meski terklasifikasi sebagai *mouth breathing*[30]. Menurut diagnose dokter spesialis gigi anak ini juga subjek ini memang terindikasi *mouth breathing*.

4.2.3 Pengujian performa deteksi ROI

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa kemampuan ROI saat subjek melakukan beberapa variasi gerakan seperti menoleh ke kanan atau ke kiri atau saat subjek sedang berbicara.

4.2.3.1 Langkah pengujian

Subjek direkam setelah script realtime detection dijalankan kemudian subjek diminta untuk melakukan beberapa gerakan yaitu memiringkan kepala kearah kanan dan kiri, dimana pada masing-masing gerakan tersebut ada kondisi dimana mulut subjek terbuka dan tertutup. Terdapat juga kondisi dimana subjek menggunakan kacamata saat proses perekaman. Selama perekaman, sistem menuliskan satu baris ke csv log untuk setiap frame valid, berisi koordinat ROI hidung dan mulut. Dan diambil juga satu snapshot untuk masing-masing kondisi

untuk dijadikan sebagai bahan validasi kondisi. Setelah didapatkan semua file csv beserta dengan snapshot untuk *ground truth* maka dilakukan analisa yang terdiri dari proses pencocokan frame acuan dengan data pada csv, lalu anotasi Anotasi ground truth berbasis grid piksel, Untuk tiap citra acuan, area citra dipotong hanya pada bagian termal lalu grid piksel putih transparan Digambar. Grid ini berfungsi sebagai penggaris visual sehingga dapat mengetahui posisi grid, koordinat pojok kiri-atas dan kanan-bawah area hidung/mulut dapat dibaca secara manual dari pola termal. Langkah selanjutnya adalah perhitungan *IoU*(*Intersection over Union*) merupakan metrik yang mengukur seberapa besar kesesuaian spasial antara dua kotak pembatas antara kotak ROI yang dihasilkan sistem dan kotak ROI yang seharusnya benar secara anatomis (*ground truth*). Nilainya dihitung sebagai rasio luas area yang beririsan antara kedua kotak, dibagi luas area gabungan keduanya. Mekanisme kerja IoU pada pengujian ini adalah Untuk tiap pasangan kotak prediksi dan *ground truth*. Persamaan untuk menentukan nilai IoU adalah sebagai berikut[31]

$$IoU(B_p, B_{gt}) = \frac{\text{Area}(B_p \cap B_{gt})}{\text{Area}(B_p \cup B_{gt})} \quad 4.9$$

B_p adalah kotak prediksi sistem pada frame ke-I sedangkan B_{gt} adalah satu kotak ground truth yang sama untuk seluruh frame dalam segmen tersebut. Nilai 0,5 sebagai ambang keberhasilan yang lazim digunakan berasal dari konvensi benchmark PASCAL VOC. Nilai IoU seluruh frame dalam satu segmen dikumpulkan ke dalam larik numpy, lalu dihitung rata-rata, standar deviasi, dan persentase frame yang IoU-nya mencapai atau melebihi 0,5

4.2.3.2 Hasil Pengujian

Dari pengujian yang sudah dilakukan didapatkan hasil pengujian IoU untuk beberapa variasi gerakan yang dilakukan subjek seperti tertera pada tabel 4.

Tabel 4. 15 hasil pengujian performa ROI

Skenario	kondisi	ROI	n_frame	Rata-rata IoU
diam	Mulut terbuka	hidung	93	0.724
diam	Mulut terbuka	Mulut	93	0.817
diam	Mulut tertutup	Hidung	178	0.692
diam	Mulut tertutup	Mulut	178	0.65
Menoleh ke kiri	Mulut terbuka	Hidung	114	0.763
Menoleh ke kiri	Mulut terbuka	Mulut	114	0.763
Menoleh ke kiri	Mulut tertutup	Hidung	149	0.354

Skenario	kondisi	ROI	n_frame	Rata-rata IoU
Menoleh ke kiri	Mulut tertutup	Mulut	149	0.412
Menoleh ke kanan	Mulut terbuka	Hidung	475	0.603
Menoleh ke kanan	Mulut terbuka	Mulut	475	0.742
Menoleh ke kanan	Mulut tertutup	Hidung	40	0.507
Menoleh ke kanan	Mulut tertutup	Mulut	40	0.639
Mendongakan kepala	Mulut tertutup	Hidung	119	0.245
Mendongakan kepala	Mulut tertutup	Mulut	119	0.233
Subjek dengan kacamata	Mulut terbuka	Hidung	101	0.874
Subjek dengan kacamata	Mulut terbuka	Mulut	101	0.903
Subjek dengan kacamata	Mulut tertutup	Hidung	154	0.851
Subjek dengan kacamata	Mulut tertutup	Mulut	154	0.872

Untuk dokumentasi pengujian ini dapat dilihat pada lampiran

4.2.3.3 Analisis Pengujian

Untuk mendapatkan nilai rata-rata IoU digunakan persamaan 4.10 berikut[31]

$$\overline{IoU} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N IoU_i \quad 4.10$$

Dimana n merupakan banyak frame. Berdasarkan performa ROI pada keadaan diam cukup baik dengan nilai rata-rata IoU 0.65-0.82. hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi wajah tanpa gangguan gerakan atau benda pada wajah, ROI hidung maupun mulut hasil sistem konsisten menutupi area yang sama dengan anotasi manual. Gerakan-gerakan yang memiliki kemampuan deteksi ROI paling buruk adalah gerakan mendongakkan kepala dengan IoU 0.239 , gerakan menoleh ke kiri dan ke kanan dengan rata-rata IoU 0.354-0.412. hal ini karena ada pergerakan horizontal dari subjek yang menyebabkan jarak relatif hidung dan mulut mulut terhadap kamera berubah. Selain itu dari tabel 4.9 bahwa kondisi mulut terbuka

untuk semua scenario memiliki nilai rata-rata IoU yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi mulut tertutup. Berdasarkan tabel 4.9 juga terlihat bahwa kacamata yang digunakan oleh subjek tidak mengganggu atau menurunkan performa dari ROI untuk mendeteksi area wajah dan mulut. Berdasarkan kelima skenario pengujian didapati bahwa ketahanan ROI yang paling baik adalah kondisi saat subjek menggunakan kacamata dalam kondisi diam, dan ketahanan ROI paling buruk adalah saat subjek mendongakkan kepala.

4.2.4 Pengujian notifikasi sistem

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem pada aspek notifikasi jika terdeteksi melakukan mouth breathing. Pengujian ini terdiri dari dua mekanisme notifikasi pada sistem yaitu notifikasi telegram sebagai respons terhadap perubahan status klasifikasi napas (mouth/nose breathing) dan alarm buzzer sebagai respon jika wajah tidak terdeteksi oleh sistem.

4.2.4.1 Langkah Pengujian

a. Pengujian notifikasi telegram

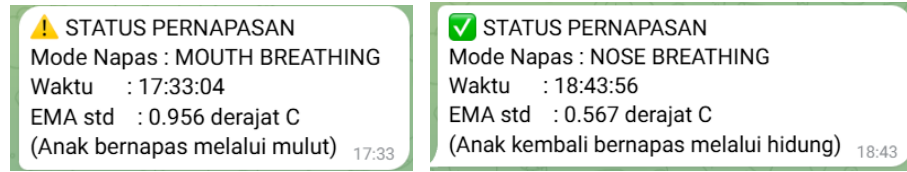
Responden diminta untuk menghadap kamera termal dengan wajah yang terdeteksi stabil. Kemudian diinstruksikan bernapas melalui mulut secara konsisten hingga sistem mencapai konsensus *voting buffer* dan mengirim notifikasi status *mouth breathing*. Durasi yang diperlukan sekitar 3 menit. Untuk menghasilkan notifikasi nose breathing responden diminta untuk bernapas melalui hidung hingga sistem trigger untuk pengiriman notifikasi terpenuhi.

b. Pengujian alarm buzzer

Responden diminta untuk sedikit bergerak sehingga frame yang terbaca oleh kamera tidak stabil. Hal ini memicu kondisi *NO FACE*. Lalu diamati apakah buzzer aktif jika kondisi *NO FACE* terdeteksi. Buzzer berbunyi sejumlah 3 kali. Responden diminta menghadap kamera Kembali dalam keadaan stabil untuk mengevaluasi apakah buzzer non aktif.

4.2.4.2 Hasil pengujian

Dari pengujian yang dilakukan notifikasi terkirim setelah 3 menit responden dominan melakukan masing-masing mode pernafasan. Terlihat seperti gambar

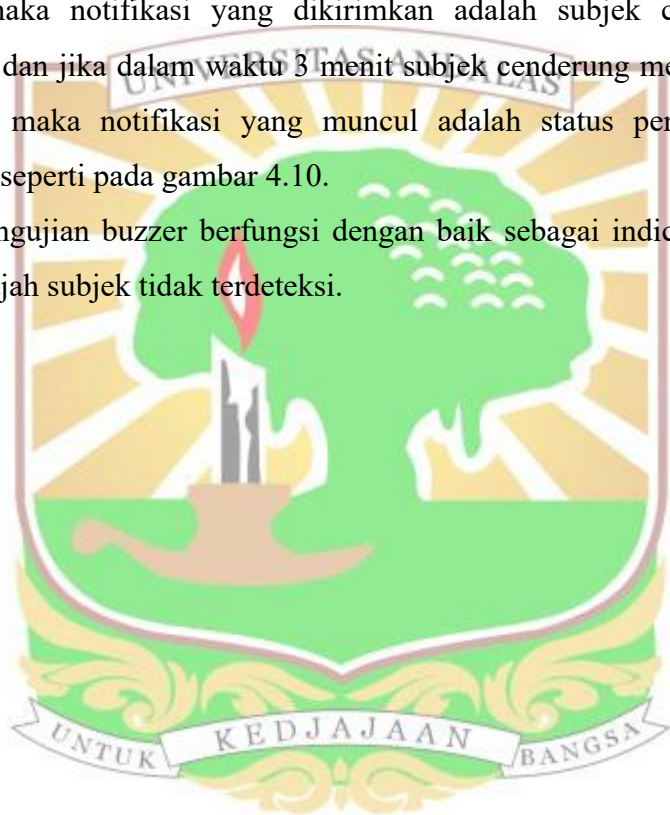


Gambar 4.10 Notifikasi sistem

4.2.4.3 Analisa Hasil pengujian

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa sistem berhasil mengirimkan notifikasi telegram jika responden melakukan dominan salah satu dari mode pernafasan yang di klasifikasikan. Jika dalam 3 menit responden dominan bernafas melalui hidung maka notifikasi yang dikirimkan adalah subjek cenderung nose breathing dan jika dalam waktu 3 menit subjek cenderung melakukan mouth breathing maka notifikasi yang muncul adalah status pernafasan mouth breathing seperti pada gambar 4.10.

Untuk pengujian buzzer berfungsi dengan baik sebagai indicator peringatan bahwa wajah subjek tidak terdeteksi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian Sistem Klasifikasi Pernapasan untuk Deteksi *Mouth Breathing* pada Anak Berbasis Kamera Termal FLIR Lepton 3.5, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem ini merupakan *preliminary study* dikembangkan dengan menggunakan Kamera termal Flir Lepton 3.5 dan Raspberry pi 5 sebagai unit pemrosesan terdapat penyesuaian perangkat keras berupa penambahan LCD display 3.5 inch untuk menampilkan termal live sehingga dapat memastikan bahwa ROI sudah pas merujuk pada bagian hidung dan mulut dari subjek. Selain itu terdapat buzzer yang berfungsi sebagai indikator apabila wajah tidak terdeteksi sehingga pengguna dapat menyesuaikan jarak dan angle kamera.
2. Sistem memenuhi spesifikasi resolusi citra termal sebesar 160×120 pixel, terverifikasi melalui perintah `v4l2-ctl` pada level driver V4L2 Raspberry Pi 5. Pengujian NETD yang bernilai $< 74\text{mK}$ yang memadai untuk mendukung proses klasifikasi berbasis threshold suhu pada sistem ini.
3. Sistem ini digunakan sebagai sistem untuk *preliminary study* yang mampu membedakan pernapasan melalui mulut dan hidung dengan akurasi keseluruhan sebesar 84,87%, melampaui target spesifikasi $\geq 80\%$ yang ditetapkan. Ditinjau per kelas, sistem memperoleh precision 86,74% dan recall 83,86% untuk kelas *mouth breathing*, serta precision 82,96 % dan recall 85,97% untuk kelas *nose breathing*.
4. Sistem berhasil mengirimkan notifikasi melalui aplikasi Telegram secara otomatis ketika mekanisme *voting buffer* (konsensus minimal 6 dari 8 frame) mencapai kestabilan label klasifikasi, baik untuk kondisi *mouth breathing* maupun *nose breathing*. Selain itu, buzzer GPIO yang ditambahkan sebagai komponen pelengkap di luar rancangan awal terbukti berfungsi sebagai indikator peringatan instan ketika sistem gagal mendeteksi wajah subjek (kondisi *NO FACE*)

5.2 Saran

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian sistem, berikut adalah beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan sistem lebih lanjut

1. Meningkatkan jumlah subjek untuk pengumpulan dataset dan pengujian yang dilakukan.
2. Menggunakan kamera termal yang memiliki resolusi termal lebih tinggi namun kamera tersebut harus dilengkapi dengan fitur radiometry untuk membaca suhu per pixel
3. Menggunakan tiang penyangga tripod yang bisa diatur tingginya sehingga memudahkan dalam implementasi sistem.



Daftar Pustaka

- [1] Leny Sang Surya, Sri Intan Millenia, Rosa Gusmi Putri, and Rahma Nadila Syari, "Effect of oral bad habit breath through the mouth with face shape in children," *Makassar Dental Journal*, vol. 11, no. 3, pp. 355–358, 2022, doi: 10.35856/mdj.v11i3.658.
- [2] P. H. Manalip, P. S. Anindita, and L. E. N. Tendean, "Gambaran Kebiasaan Bernapas Melalui Mulut dan Gigi Berjejal Anterior pada Siswa SD Negeri 46 Manado," *e-GiGi*, vol. 8, no. 1, pp. 22–27, 2020, doi: 10.35790/eg.8.1.2020.28689.
- [3] G. Sahyouni *et al.*, "Incidence of thymic tissue in pediatric thyroidectomy," *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.*, vol. 158, no. May, p. 111168, 2022, doi: 10.1016/j.ijporl.2022.111168.
- [4] Y. S. Huang and C. Guilleminault, "Pediatric obstructive sleep apnea and the critical role of oral-facial growth: Evidences," *Front. Neurol.*, vol. 3 JAN, no. January, pp. 1–7, 2013, doi: 10.3389/fneur.2012.00184.
- [5] A. F. Galán-González, A. Domínguez-Reyes, and M. E. Cabrera-Domínguez, "Influence of bad oral habits upon the development of posterior crossbite in a preschool population," *BMC Oral Health*, vol. 23, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.1186/s12903-023-03572-0.
- [6] R. S. Febriansyah, F. K. Gigi, and U. Andalas, *SKRIPSI*. 2024.
- [7] drg. R. Febrina, "wawancara terkait mouth breathing,"
- [8] A. R. P. KUSUMA, "Bernafas lewat mulut sebagai faktor ekstrinsik etiologi maloklusi," *Bernafas Lewat Mulut Sebagai Faktor Ekstrinsik Etiologi Maloklusi*, pp. 1–19, 2010.
- [9] L. Biedebach *et al.*, "Anomaly detection in sleep: detecting mouth breathing in children," *Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 38, no. 3, pp. 976–1005, 2024, doi: 10.1007/s10618-023-00985-x.
- [10] A. Sabil, C. Marien, M. Levallant, G. Baffet, N. Meslier, and F. Gagnadoux, "Diagnosis of sleep apnea without sensors on the patient's face," *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 16, no. 7, pp. 1161–1169, 2020, doi: 10.5664/jcsm.8460.
- [11] Z. Huang, W. Wang, and G. De Haan, "Nose breathing or mouth breathing? a thermography-based new measurement for sleep monitoring," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp. 3877–3883, 2021, doi: 10.1109/CVPRW53098.2021.00430.
- [12] K. Källander *et al.*, "Usability and acceptability of an automated respiratory rate counter to assess childhood pneumonia in Nepal," *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, vol. 109, no. 6, pp. 1207–1220, 2020, doi: 10.1111/apa.15108.
- [13] Y. Li, H. Tang, Y. Liu, Y. Qiao, H. Xia, and J. Zhou, "Oral wearable sensors: Health management based on the oral cavity," *Biosens. Bioelectron. X*, vol. 10, no. March, p. 100135, 2022, doi: 10.1016/j.biosx.2022.100135.
- [14] Teledyne FLIR. Accessed: Jul. 17, 2025. [Online]. Available: <https://www.flir.com/discover/rd-science/how-do-thermal-cameras-work/>
- [15] G. Description and L. Features, "FLIR LEPTON ® Engineering Datasheet FLIR LEPTON ® Engineering Datasheet," pp. 1–83.

- [16] G. Description and L. Features, "FLIR LEPTON ® Engineering Datasheet FLIR LEPTON ® Engineering Datasheet," pp. 1–83.
- [17] G. Description, "FLIR LEPTON ® 3 Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet FLIR LEPTON ® 3 Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet Table of Contents," pp. 1–58.
- [18] Alibaba.com, "256*192 3.2mm Infrared Laser Module Monitoring Thermal Imaging Camera Developed Mobile Phone Infrared Night Vision With CMOS," Alibaba.com. [Online]. Available: https://www.alibaba.com/product-detail/256-192-3-2mm-Infrared-Laser_1601427639437.html. [Accessed: 25-Aug-2026]
- [19] D. Švorc, T. Tichý, M. Růžicka, and P. Ivasienko, "Use of One-Stage Detector and Feature Detector in Infrared Video on Transport Infrastructure and Tunnels," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, pp. 1–21, 2023, doi: 10.3390/su15032122.
- [20] D. D. Poster, S. Hu, N. J. Short, B. S. Riggan, and N. M. Nasrabadi, "Visible-to-Thermal Transfer Learning for Facial Landmark Detection," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 52759–52772, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070233.
- [21] Raspberry Pi Ltd, "Raspberry Pi 4 Model B Datasheet," *Raspberry Pi*, no. March, p. 12, 2024.
- [22] Nvidia, "DATA SHEET NVIDIA Jetson Nano System-on-Module," 2014.
- [23] P. Brief, "Radxa ROCK 5 Model B 8K Single Board Computer with Quad Display Radxa ROCK 5 Model B," 2023.
- [24] A. Reynolds, "Mobile push notification VS Web Push Notification".
- [25] Rahmi Hidayati and Teodora Fenny Aliansih, "Sistem Pemantauan Infus Berbasis IoT dengan Notifikasi Real-Time Melalui Telegram," *Jurnal PROCESSOR*, vol. 19, no. 2, pp. 156–170, 2024, doi: 10.33998/processor.2024.19.2.1843.
- [26] .Institute of Smart Systems and Artificial Intelligence (IS2AI), "SF-TL54: Thermal Facial Landmark Dataset with Visual Pairs," GitHub repository, 2022. [Online]. Available: <https://github.com/IS2AI/thermal-facial-landmarks-detection>. [Accessed: 25-Aug-2026].
- [27] C. Á. Casado *et al.*, "Thermal Imaging for Contactless Cardiorespiratory and Sudomotor Response Monitoring," May 2026, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2602.12361>
- [28] C.-L. yang Pei-Ying Lin, Shao-Ying Wu, "Respiration Rate Detection Based on Thermal Facial Landmark," *IEEE*, 2024, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10602557>
- [29] A. F. Galán-González, A. Domínguez-Reyes, and M. E. Cabrera-Domínguez, "Influence of bad oral habits upon the development of posterior crossbite in a preschool population," *BMC Oral Health*, vol. 23, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.1186/s12903-023-03572-0.
- [30] D. D. Poster, S. Hu, N. J. Short, B. S. Riggan, and N. M. Nasrabadi, "Visible-to-Thermal Transfer Learning for Facial Landmark Detection," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 52759–52772, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3070233.

Lampiran

Lampiran wawancara dengan spesialis THT
 Narasumber : **Dr. Arif Surgana Sp.THT-BKL**
 Waktu wawancara : 17 Maret 2025
 Tempat wawancara : online

No	Pertanyaan	Jawaban
1.	Gejala/ karakteristik apa saja sehingga seorang anak bisa dikatakan mempunyai kebiasaan mouth breathing	Gejala: - tidur mengorok - hidung tersumbat dalam jangka waktu yang lama - mulut terasa kering. Mouth breathing dapat mempengaruhi perkembangan struktur wajah anak jika mengalami gejala mouth breathing dalam jangka waktu yang lama seperti bentuk wajah terlihat lebih panjang dan pipi yang tampak lebih cekung
2.	apa penyebab kebiasaan mouth breathing pada anak	Hidung tersumbat karena pembesaran adenoid atau ada rhinitis alergi - pembengkakan amandel Kemungkinan lain karena faktor anatomi (sekat hidung yang tajam/bengkok)
3.	apa dampak bagi kesehatan jika anak-anak terbiasa melakukan mouth breathing	Dampaknya: - perubahan struktur wajah (rahang dan gigi) - kebiasaan bernafas lewat mulut juga bisa menyebabkan udara yang masuk ke dalam paru-paru tidak difiltrasi oleh rongga hidung - mengganggu kualitas tidur dan berpengaruh pada kualitas hidup
4.	pada usia berapa biasanya anak-anak terdiagnosa sudah terbiasa mouth breathing	Mulai anak usia 3 tahun sampai 12 tahun Hingga dewasa juga ada
5.	idealnya pada usia berapa langkah preventif untuk mencegah kebiasaan mouth breathing dilakukan	Bisa dimulai pada usia 2 tahun
7.	apa saja teknologi yang sudah ada untuk mengobati/ memperbaiki kebiasaan mouth breathing	Mendiagnosa dengan observasi klinis atau pemeriksaan fisik, endoskopi hidung dan tenggorokan

No	Pertanyaan	Jawaban
8.	langkah preventif apa yang harus dilakukan agar anak-anak dapat terhindar dari kebiasaan mouth breathing	Menilik penyebabnya jika disebabkan karena amandel yang dihindari adalah kebiasaan minum dingin, makanan yang mengandung msg atau udara yang kering dengan menggunakan humidifier pada ruangan berAC. Jika penyebabnya rhinitis/pembesaran adenoid : - menghindari alergen (debu, spora, tungau) - menggunakan humidifier pada ruangan berAC - menggunakan masker di tempat berdebu/banyak asap
10.	bagaimana mekanisme dari teknologi tersebut	Dengan memasukkan alat dengan kamera ke dalam hidung atau tenggorokan
11.	spesifikasi/ karakteristik dot yang aman dan nyaman digunakan pada anak	

Transkrip Wawancara

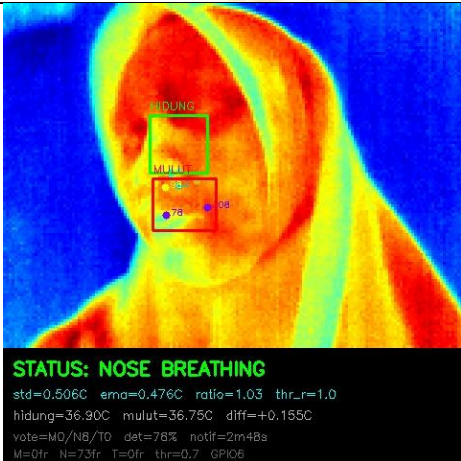
Tujuan : Membahas Terkait durasi pemantauan dan performa alat

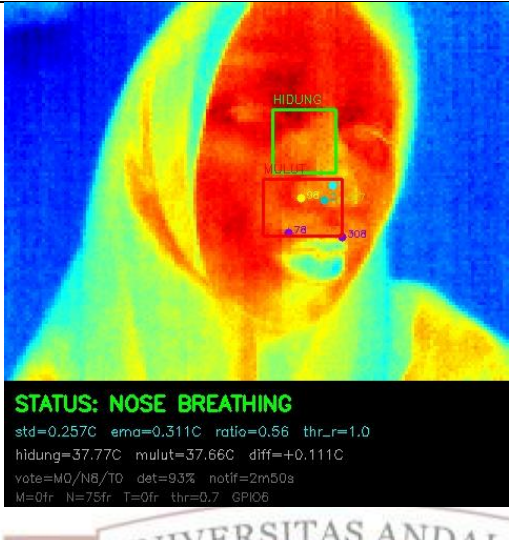
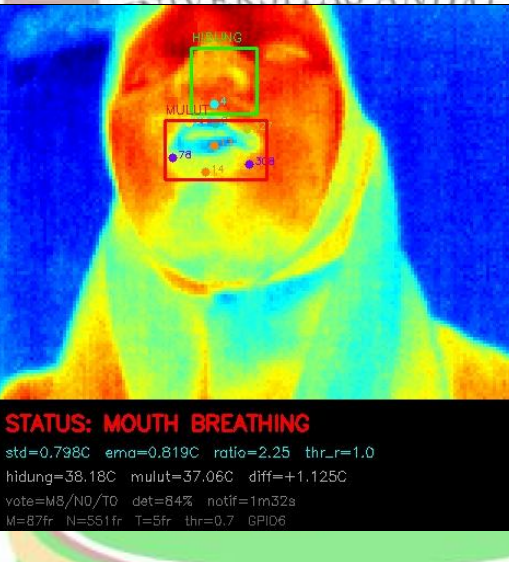
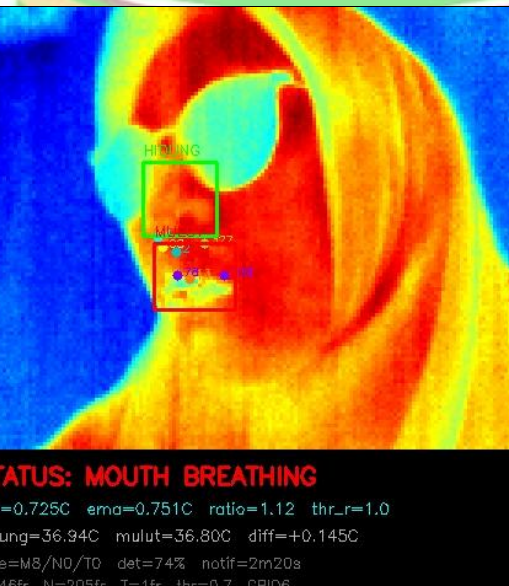
Narasumber : drg. Puji Kurnia, MDSc, Sp.KGA

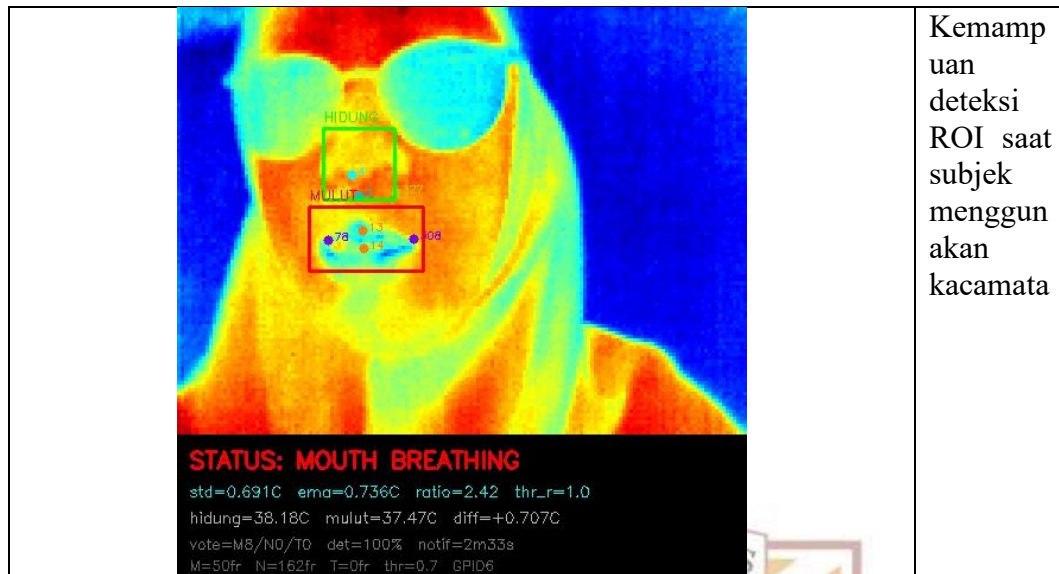
Waktu wawancara : 14 Agustus 2026

Tempat wawancara : ruangan pediatri FKG

No	Pertanyaan	Jawaban
1.	Berapa lama waktu yang ideal untuk melihat kecenderungan mouth breathing pada anak	Untuk deteksi awal bisa dilakukan pemantauan terhadap bagaimana subjek bernapas dalam rentang waktu 10 menit
2.	Bagaimana tanggapan dokter terkait performa alat	Untuk saat ini, alat ini merupakan salah satu awal dari inovasi digital untuk deteksi kecenderungan mouth breathing pada anak. Performa alat cukup baik, karena pasien yang masih diagnose awal mouth breathing dideteksi dengan benar karena klasifikasi pernapasan yang muncul pada monitor adalah mouth breathing.
3.	Pengembangan seperti apa yang sebaiknya dilakukan pada sistem	Dibuat lebih fleksibel dalam implementasi misalnya dengan menggunakan penyampung tripod adjustable sehingga lebih mudah digunakan.

Pengujian	Keterangan
	Pengujian alat dengan anak normal
https://drive.google.com/drive/folders/1fbK0qFBXmFjppRNOwi4yAbFPQsmijaGr?usp=drive_link	Dataset
	Pengujian dengan anak mouth breathing
https://drive.google.com/drive/folders/1fbK0qFBXmFjppRNOwi4yAbFPQsmijaGr?usp=drive_link	Data pengujian threshold 0.561
	Screenshot pengujian kemampuan ROI (menoleh ke kiri)

		Pengujian kemampuan deteksi ROI menoleh ke kanan
		Kemampuan deteksi ROI saat subjek mendongak ke atas
		Kemampuan deteksi ROI saat subjek menoleh ke kiri dengan menggunakan kaca mata



Kemampuan deteksi ROI saat subjek menggunakan kacamata

Informasi pengujian

respon den	jenis	se si	fra me	stabel label	std	ema	m_vo tes	n_vo tes	thr
1	mout h	1	10	Mengumpul kan...	0.42	0.42 4	0	3	0.5 61
1	mout h	1	20	NOSE BREATHIN G	0.63 1	0.55 8	0	8	0.5 61
1	mout h	1	30	MOUTH BREATHIN G	0.62 8	0.64 2	8	0	0.5 61
1	mout h	1	40	MOUTH BREATHIN G	0.61 2	0.62 3	8	0	0.5 61
1	mout h	1	50	MOUTH BREATHIN G	0.58 3	0.59 2	8	0	0.5 61
1	mout h	1	60	MOUTH BREATHIN G	0.80 6	0.72 6	8	0	0.5 61
1	mout h	1	70	MOUTH BREATHIN G	0.61 4	0.62 6	8	0	0.5 61
1	mout h	1	80	MOUTH BREATHIN G	0.59 8	0.61	8	0	0.5 61
1	mout h	1	90	MOUTH BREATHIN G	0.59 9	0.6	8	0	0.5 61

1	mout h	1	100	MOUTH BREATHIN G	0.73 6	0.67 5	8	0	0.5 61
1	mout h	1	110	MOUTH BREATHIN G	0.64 7	0.65 8	8	0	0.5 61
1	mout h	1	120	MOUTH BREATHIN G	0.63 7	0.64 2	8	0	0.5 61
1	mout h	1	130	MOUTH BREATHIN G	0.58 6	0.59 1	8	0	0.5 61
1	mout h	1	140	MOUTH BREATHIN G	0.60 8	0.60 8	8	0	0.5 61
1	mout h	1	150	MOUTH BREATHIN G	0.67 9	0.68 9	8	0	0.5 61
1	mout h	1	160	MOUTH BREATHIN G	0.62 4	0.63 8	8	0	0.5 61
1	mout h	1	170	MOUTH BREATHIN G	0.71 3	0.69 4	8	0	0.5 61
1	mout h	1	180	MOUTH BREATHIN G	0.63 7	0.59 5	8	0	0.5 61
1	mout h	1	190	MOUTH BREATHIN G	0.63 5	0.65 3	8	0	0.5 61
1	mout h	1	200	MOUTH BREATHIN G	0.58 8	0.59 8	8	0	0.5 61
1	mout h	1	210	MOUTH BREATHIN G	0.71 6	0.64 7	8	0	0.5 61
1	mout h	1	220	MOUTH BREATHIN G	0.64 3	0.64 5	8	0	0.5 61
1	mout h	1	230	MOUTH BREATHIN G	0.55 2	0.57 4	8	0	0.5 61
1	mout h	1	240	MOUTH BREATHIN G	0.57	0.56 6	5	3	0.5 61
1	mout h	1	250	MOUTH BREATHIN G	0.60 5	0.61 3	8	0	0.5 61

1	mout h	1	260	MOUTH BREATHIN G	0.56	0.58 2	8	0	0.5 61
1	mout h	1	270	MOUTH BREATHIN G	0.60 7	0.61 1	8	0	0.5 61
1	mout h	1	280	MOUTH BREATHIN G	0.59 1	0.59 4	8	0	0.5 61
1	mout h	1	290	MOUTH BREATHIN G	0.6	0.59 3	8	0	0.5 61
1	mout h	1	300	MOUTH BREATHIN G	0.57 8	0.58 2	8	0	0.5 61
1	mout h	1	310	MOUTH BREATHIN G	0.56	0.55 7	3	5	0.5 61
1	mout h	1	320	MOUTH BREATHIN G	0.69 9	0.62 4	8	0	0.5 61
1	mout h	1	330	MOUTH BREATHIN G	0.58 9	0.60 5	8	0	0.5 61
1	mout h	1	340	MOUTH BREATHIN G	0.56 6	0.57 6	8	0	0.5 61
1	mout h	1	350	MOUTH BREATHIN G	0.60 9	0.57 7	8	0	0.5 61
1	mout h	1	360	NOSE BREATHIN G	0.53 6	0.53 7	0	8	0.5 61
1	mout h	1	370	NOSE BREATHIN G	0.56 6	0.56 9	5	3	0.5 61
1	mout h	1	380	MOUTH BREATHIN G	0.62 9	0.62 7	8	0	0.5 61
1	mout h	1	390	MOUTH BREATHIN G	0.56 5	0.58	8	0	0.5 61
1	mout h	1	400	NOSE BREATHIN G	0.53 6	0.54 1	0	8	0.5 61
1	mout h	1	410	NOSE BREATHIN G	0.52 4	0.51 3	0	8	0.5 61

1	mout h	1	420	NOSE BREATHIN G	0.55 5	0.55 2	1	7	0.5 61
1	mout h	1	430	MOUTH BREATHIN G	0.89 9	0.74 2	6	2	0.5 61
1	mout h	1	440	MOUTH BREATHIN G	0.53 6	0.54 8	6	2	0.5 61
1	mout h	1	450	NOSE BREATHIN G	0.52 7	0.53 7	0	8	0.5 61
1	mout h	1	460	NOSE BREATHIN G	0.71 2	0.59	1	7	0.5 61
1	mout h	1	470	MOUTH BREATHIN G	0.57 8	0.60 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	10	Mengumpul an...	0.29 7	0.31 2	0	3	0.5 61
1	mout h	2	20	NOSE BREATHIN G	0.43 8	0.42 2	0	8	0.5 61
1	mout h	2	30	NOSE BREATHIN G	0.46 5	0.46 5	0	8	0.5 61
1	mout h	2	40	NOSE BREATHIN G	0.57 5	0.56 5	1	7	0.5 61
1	mout h	2	50	NOSE BREATHIN G	0.45 3	0.49 3	0	8	0.5 61
1	mout h	2	60	NOSE BREATHIN G	0.60 3	0.60 3	5	3	0.5 61
1	mout h	2	70	MOUTH BREATHIN G	0.62 1	0.62 6	8	0	0.5 61
1	mout h	2	80	MOUTH BREATHIN G	0.55 9	0.57 1	8	0	0.5 61
1	mout h	2	90	MOUTH BREATHIN G	0.60 6	0.60 8	8	0	0.5 61
1	mout h	2	100	MOUTH BREATHIN G	0.56 6	0.57	8	0	0.5 61

1	mout h	2	110	NOSE BREATHIN G	0.55 3	0.55 6	2	6	0.5 61
1	mout h	2	120	NOSE BREATHIN G	0.56 6	0.55 8	1	7	0.5 61
1	mout h	2	130	MOUTH BREATHIN G	0.63	0.64 1	8	0	0.5 61
1	mout h	2	140	MOUTH BREATHIN G	0.58 3	0.58 6	8	0	0.5 61
1	mout h	2	150	MOUTH BREATHIN G	0.56 7	0.57 1	8	0	0.5 61
1	mout h	2	160	MOUTH BREATHIN G	0.57 4	0.57 2	8	0	0.5 61
1	mout h	2	170	MOUTH BREATHIN G	0.57	0.56 6	8	0	0.5 61
1	mout h	2	180	NOSE BREATHIN G	0.54 5	0.54 8	0	8	0.5 61
1	mout h	2	190	NOSE BREATHIN G	0.66 8	0.60 1	2	6	0.5 61
1	mout h	2	200	MOUTH BREATHIN G	0.65 1	1.02 6	7	1	0.5 61
1	mout h	2	210	MOUTH BREATHIN G	0.69 4	0.65 6	8	0	0.5 61
1	mout h	2	220	MOUTH BREATHIN G	0.60 3	0.61 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	230	MOUTH BREATHIN G	0.53 4	0.53 6	4	4	0.5 61
1	mout h	2	240	NOSE BREATHIN G	0.44 9	0.48 8	0	8	0.5 61
1	mout h	2	250	MOUTH BREATHIN G	0.55 9	0.56 5	8	0	0.5 61
1	mout h	2	260	NOSE BREATHIN G	0.52 8	0.52 4	0	8	0.5 61

1	mout h	2	270	NOSE BREATHIN G	0.53 3	0.5	0	8	0.5 61
1	mout h	2	280	MOUTH BREATHIN G	0.55 4	0.57 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	290	NOSE BREATHIN G	0.54 4	0.54 5	0	8	0.5 61
1	mout h	2	300	NOSE BREATHIN G	0.61 9	0.57 2	1	7	0.5 61
1	mout h	2	310	MOUTH BREATHIN G	0.53 2	0.55 7	7	1	0.5 61
1	mout h	2	320	NOSE BREATHIN G	0.43 3	0.44 4	0	8	0.5 61
1	mout h	2	330	NOSE BREATHIN G	0.43 5	0.43 9	0	8	0.5 61
1	mout h	2	340	NOSE BREATHIN G	0.51 9	0.51 2	0	8	0.5 61
1	mout h	2	350	NOSE BREATHIN G	0.49 3	0.5	0	8	0.5 61
1	mout h	2	360	NOSE BREATHIN G	0.48 1	0.47 5	0	8	0.5 61
1	mout h	2	370	NOSE BREATHIN G	0.27 2	0.27 8	0	8	0.5 61
1	mout h	2	380	NOSE BREATHIN G	0.54 1	0.49 6	0	8	0.5 61
1	mout h	2	390	NOSE BREATHIN G	0.55	0.54 3	0	8	0.5 61
1	mout h	2	400	MOUTH BREATHIN G	0.53	0.54 7	6	2	0.5 61
1	mout h	2	410	MOUTH BREATHIN G	0.68 6	0.66 8	7	1	0.5 61
1	mout h	2	420	MOUTH BREATHIN G	0.67 5	0.67 4	8	0	0.5 61

1	mout h	2	430	MOUTH BREATHIN G	0.66 3	0.66 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	440	MOUTH BREATHIN G	0.61 9	0.63	8	0	0.5 61
1	mout h	2	450	MOUTH BREATHIN G	0.61 1	0.61 2	8	0	0.5 61
1	mout h	2	460	MOUTH BREATHIN G	0.70 7	0.70 7	8	0	0.5 61
1	mout h	2	470	MOUTH BREATHIN G	0.68 1	0.68	8	0	0.5 61
1	mout h	2	480	MOUTH BREATHIN G	0.66 7	0.66 8	8	0	0.5 61
1	mout h	2	490	MOUTH BREATHIN G	0.73 4	0.7	8	0	0.5 61
1	mout h	2	500	MOUTH BREATHIN G	0.73 7	0.72 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	510	MOUTH BREATHIN G	0.71 2	0.70 1	8	0	0.5 61
1	mout h	2	520	MOUTH BREATHIN G	0.69 7	0.69 7	8	0	0.5 61
1	mout h	2	530	MOUTH BREATHIN G	0.73	0.71 4	8	0	0.5 61
1	mout h	2	540	MOUTH BREATHIN G	0.67 2	0.68 3	8	0	0.5 61
1	mout h	2	550	MOUTH BREATHIN G	0.70 5	0.68 6	8	0	0.5 61
1	mout h	2	560	MOUTH BREATHIN G	0.65 8	0.68	8	0	0.5 61
1	mout h	2	570	MOUTH BREATHIN G	0.66 2	0.66	8	0	0.5 61
1	mout h	2	580	MOUTH BREATHIN G	0.63 8	0.65 1	8	0	0.5 61

1	mout h	2	590	MOUTH BREATHIN G	0.59 1	0.62 2	8	0	0.5 61
1	mout h	2	600	MOUTH BREATHIN G	0.38 4	0.51 2	7	1	0.5 61
1	nose	1	110	NOSE BREATHIN G	0.55 8	0.55 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	120	NOSE BREATHIN G	0.56 1	0.55 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	130	NOSE BREATHIN G	0.54 2	0.54 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	140	NOSE BREATHIN G	0.56 2	0.55 5	0	8	0.5 61
1	nose	1	150	NOSE BREATHIN G	0.53 4	0.53 5	0	8	0.5 61
1	nose	1	160	NOSE BREATHIN G	0.54	0.53 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	170	NOSE BREATHIN G	0.52 7	0.52 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	180	NOSE BREATHIN G	0.24 4	0.37 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	190	NOSE BREATHIN G	0.52 8	0.61 6	5	3	0.5 61
1	nose	1	200	MOUTH BREATHIN G	0.54 6	0.54 3	3	5	0.5 61
1	nose	1	210	NOSE BREATHIN G	0.52 1	0.52 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	220	NOSE BREATHIN G	0.53 6	0.52 5	0	8	0.5 61
1	nose	1	230	NOSE BREATHIN G	0.50 4	0.51 8	0	8	0.5 61
1	nose	1	240	NOSE BREATHIN G	0.5	0.50 2	0	8	0.5 61

1	nose	1	250	NOSE BREATHIN G	0.50 9	0.51 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	260	NOSE BREATHIN G	0.50 7	0.50 7	0	8	0.5 61
1	nose	1	270	NOSE BREATHIN G	0.50 2	0.50 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	280	NOSE BREATHIN G	0.46 1	0.46 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	290	NOSE BREATHIN G	0.45 5	0.45 8	0	8	0.5 61
1	nose	1	300	NOSE BREATHIN G	0.45 7	0.45 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	310	NOSE BREATHIN G	0.45 2	0.45 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	320	NOSE BREATHIN G	0.43	0.45	0	8	0.5 61
1	nose	1	330	NOSE BREATHIN G	0.42 6	0.42 5	0	8	0.5 61
1	nose	1	340	NOSE BREATHIN G	0.40 6	0.41	0	8	0.5 61
1	nose	1	350	NOSE BREATHIN G	0.39 9	0.40 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	360	NOSE BREATHIN G	0.42 4	0.41 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	370	NOSE BREATHIN G	0.39 8	0.39 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	380	NOSE BREATHIN G	0.38 4	0.38 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	390	NOSE BREATHIN G	0.40 6	0.39 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	400	NOSE BREATHIN G	0.47	0.45	0	8	0.5 61

1	nose	1	410	NOSE BREATHIN G	0.43 8	0.44 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	420	NOSE BREATHIN G	0.40 6	0.42 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	430	NOSE BREATHIN G	0.42 9	0.41 8	0	8	0.5 61
1	nose	1	440	NOSE BREATHIN G	0.40 5	0.41 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	450	NOSE BREATHIN G	0.33 9	0.37 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	460	NOSE BREATHIN G	0.37 4	0.37 7	0	8	0.5 61
1	nose	1	470	NOSE BREATHIN G	0.36 8	0.36 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	480	NOSE BREATHIN G	0.37 9	0.38 7	0	8	0.5 61
1	nose	1	490	NOSE BREATHIN G	0.38 1	0.38 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	500	NOSE BREATHIN G	0.39 2	0.36 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	510	NOSE BREATHIN G	0.34 9	0.36	0	8	0.5 61
1	nose	1	520	NOSE BREATHIN G	0.33 8	0.35	0	8	0.5 61
1	nose	1	530	NOSE BREATHIN G	0.32 8	0.32 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	540	NOSE BREATHIN G	0.32	0.32 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	550	NOSE BREATHIN G	0.35 2	0.34 8	0	8	0.5 61
1	nose	1	560	NOSE BREATHIN G	0.34 9	0.34 9	0	8	0.5 61

1	nose	1	570	NOSE BREATHIN G	0.35 3	0.35 5	0	8	0.5 61
1	nose	1	580	NOSE BREATHIN G	0.33 1	0.33 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	590	NOSE BREATHIN G	0.25 1	0.30 9	0	8	0.5 61
1	nose	1	600	NOSE BREATHIN G	0.31 8	0.28 7	0	8	0.5 61
1	nose	1	610	NOSE BREATHIN G	0.31 4	0.32 1	0	8	0.5 61
1	nose	1	620	NOSE BREATHIN G	0.30 5	0.28 6	0	8	0.5 61
1	nose	1	630	NOSE BREATHIN G	0.29 4	0.30 2	0	8	0.5 61
1	nose	1	640	NOSE BREATHIN G	0.30 3	0.29 9	0	8	0.5 61
1	nose	1	650	NOSE BREATHIN G	0.29	0.29 4	0	8	0.5 61
1	nose	1	660	NOSE BREATHIN G	0.29	0.28 9	0	8	0.5 61
1	nose	1	670	NOSE BREATHIN G	0.36 9	0.31	0	8	0.5 61
1	nose	1	680	NOSE BREATHIN G	0.32 9	0.33 3	0	8	0.5 61
1	nose	1	690	NOSE BREATHIN G	0.32 2	0.32 8	0	8	0.5 61
2	mout h	1	10	Mengumpul an...	0.30 1	0.30 2	0	3	0.5 61
2	mout h	1	20	NOSE BREATHIN G	0.36 4	0.34 4	0	8	0.5 61
2	mout h	1	30	NOSE BREATHIN G	0.45 8	0.45 1	0	8	0.5 61

2	mout h	1	40	NOSE BREATHIN G	0.50 4	0.47 8	0	8	0.5 61
2	mout h	1	50	NOSE BREATHIN G	0.53	0.52 2	0	8	0.5 61
2	mout h	1	60	NOSE BREATHIN G	0.51 9	0.52 1	0	8	0.5 61
2	mout h	1	70	MOUTH BREATHIN G	0.65 3	0.65 4	7	1	0.5 61
2	mout h	1	80	MOUTH BREATHIN G	0.58 5	0.59 2	8	0	0.5 61
2	mout h	1	90	MOUTH BREATHIN G	0.56	0.57 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	100	MOUTH BREATHIN G	0.56 4	0.56 4	8	0	0.5 61
2	mout h	1	110	NOSE BREATHIN G	0.53 7	0.54 4	0	8	0.5 61
2	mout h	1	120	NOSE BREATHIN G	0.45 7	0.46 4	0	8	0.5 61
2	mout h	1	130	NOSE BREATHIN G	0.52 2	0.51 5	0	8	0.5 61
2	mout h	1	140	NOSE BREATHIN G	0.55 2	0.57 9	4	4	0.5 61
2	mout h	1	150	MOUTH BREATHIN G	0.62 7	0.66 4	7	1	0.5 61
2	mout h	1	160	MOUTH BREATHIN G	0.70 5	0.65 2	8	0	0.5 61
2	mout h	1	170	MOUTH BREATHIN G	0.52 7	0.56 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	180	MOUTH BREATHIN G	0.54 8	0.56 3	7	1	0.5 61
2	mout h	1	190	MOUTH BREATHIN G	0.64 6	0.61 5	5	3	0.5 61

2	mout h	1	200	MOUTH BREATHIN G	0.54 4	0.57 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	210	MOUTH BREATHIN G	0.69 1	0.67 1	8	0	0.5 61
2	mout h	1	220	MOUTH BREATHIN G	0.59 6	0.62 5	8	0	0.5 61
2	mout h	1	230	MOUTH BREATHIN G	0.61 2	0.64 3	8	0	0.5 61
2	mout h	1	240	MOUTH BREATHIN G	0.65 7	0.62 7	7	1	0.5 61
2	mout h	1	250	MOUTH BREATHIN G	0.57 2	0.59 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	260	MOUTH BREATHIN G	0.70 3	0.67 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	270	MOUTH BREATHIN G	0.60 2	0.57 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	280	MOUTH BREATHIN G	0.59 6	0.63 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	290	MOUTH BREATHIN G	0.67 4	0.63 8	8	0	0.5 61
2	mout h	1	300	MOUTH BREATHIN G	0.57 1	0.60 1	8	0	0.5 61
2	mout h	1	310	MOUTH BREATHIN G	0.62 1	0.65 1	8	0	0.5 61
2	mout h	1	320	MOUTH BREATHIN G	0.71 3	0.64 8	8	0	0.5 61
2	mout h	1	330	MOUTH BREATHIN G	0.57 4	0.63 1	8	0	0.5 61
2	mout h	1	340	MOUTH BREATHIN G	0.68 6	0.67 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	350	MOUTH BREATHIN G	0.67 1	0.62	8	0	0.5 61

2	mout h	1	360	MOUTH BREATHIN G	0.58 5	0.62	8	0	0.5 61
2	mout h	1	370	MOUTH BREATHIN G	0.70 6	0.67 9	8	0	0.5 61
2	mout h	1	380	MOUTH BREATHIN G	0.56 8	0.59 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	390	MOUTH BREATHIN G	0.70 2	0.68 8	8	0	0.5 61
2	mout h	1	400	MOUTH BREATHIN G	0.69 3	0.65 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	410	MOUTH BREATHIN G	0.55 1	0.59 6	8	0	0.5 61
2	mout h	1	420	MOUTH BREATHIN G	0.66 9	0.65 9	8	0	0.5 61
2	mout h	1	430	MOUTH BREATHIN G	0.54 5	0.56 8	8	0	0.5 61
2	mout h	1	440	MOUTH BREATHIN G	0.63 4	0.66 4	8	0	0.5 61
2	mout h	1	450	MOUTH BREATHIN G	0.64 5	0.60 8	7	1	0.5 61
2	mout h	1	460	MOUTH BREATHIN G	0.56 4	0.59 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	470	MOUTH BREATHIN G	0.65 7	0.63 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	480	MOUTH BREATHIN G	0.54 4	0.56 9	8	0	0.5 61
2	mout h	1	490	MOUTH BREATHIN G	0.61 4	0.59 8	8	0	0.5 61
2	mout h	1	500	MOUTH BREATHIN G	0.51 4	0.56 5	8	0	0.5 61
2	mout h	1	510	MOUTH BREATHIN G	0.63	0.61 6	5	3	0.5 61

2	mout h	1	520	MOUTH BREATHIN G	0.63 9	0.61 5	7	1	0.5 61
2	mout h	1	530	MOUTH BREATHIN G	0.58 9	0.56 2	7	1	0.5 61
2	mout h	1	540	MOUTH BREATHIN G	0.59 1	0.57 4	8	0	0.5 61
2	mout h	1	550	MOUTH BREATHIN G	0.54 7	0.59 4	8	0	0.5 61
2	mout h	1	560	MOUTH BREATHIN G	0.66 5	0.63 6	5	3	0.5 61
2	mout h	1	570	MOUTH BREATHIN G	0.51 6	0.54 2	6	2	0.5 61
2	mout h	1	580	MOUTH BREATHIN G	0.65 2	0.64 5	8	0	0.5 61
2	mout h	1	590	MOUTH BREATHIN G	0.50 9	0.53	5	3	0.5 61
2	mout h	1	600	MOUTH BREATHIN G	0.58 2	0.60 7	8	0	0.5 61
2	mout h	1	610	NOSE BREATHIN G	0.58 7	0.55 6	0	8	0.5 61
2	mout h	1	620	MOUTH BREATHIN G	0.49 8	0.53 2	6	2	0.5 61
2	mout h	1	630	NOSE BREATHIN G	0.58 5	0.53 1	0	8	0.5 61
2	mout h	1	640	NOSE BREATHIN G	0.48 8	0.5	0	8	0.5 61
2	mout h	1	650	NOSE BREATHIN G	0.27 8	0.50 8	4	4	0.5 61
2	nose	1	10	Mengumpul an...	0.28 9	0.29 6	0	3	0.5 61
2	nose	1	20	NOSE BREATHIN G	0.31 2	0.30 6	0	8	0.5 61

2	nose	1	30	NOSE BREATHIN G	0.28 6	0.29	0	8	0.5 61
2	nose	1	40	NOSE BREATHIN G	0.28 5	0.28 5	0	8	0.5 61
2	nose	1	50	NOSE BREATHIN G	0.26 3	0.26 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	60	NOSE BREATHIN G	0.27 3	0.26 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	70	NOSE BREATHIN G	0.27 9	0.27 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	80	NOSE BREATHIN G	0.25 5	0.25 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	90	NOSE BREATHIN G	0.25 5	0.26	0	8	0.5 61
2	nose	1	100	NOSE BREATHIN G	0.27 9	0.26 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	110	NOSE BREATHIN G	0.25 6	0.26 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	120	NOSE BREATHIN G	0.25 3	0.25 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	130	NOSE BREATHIN G	0.23 4	0.23 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	140	NOSE BREATHIN G	0.24 3	0.24 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	150	NOSE BREATHIN G	0.22 9	0.23 4	0	8	0.5 61
2	nose	1	160	NOSE BREATHIN G	0.24 3	0.24	0	8	0.5 61
2	nose	1	170	NOSE BREATHIN G	0.23 1	0.23 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	180	NOSE BREATHIN G	0.22 5	0.23	0	8	0.5 61

2	nose	1	190	NOSE BREATHIN G	0.24 7	0.21 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	200	NOSE BREATHIN G	0.28 9	0.30 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	210	NOSE BREATHIN G	0.27 7	0.28	0	8	0.5 61
2	nose	1	220	NOSE BREATHIN G	0.26 3	0.26 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	230	NOSE BREATHIN G	0.28 6	0.27 4	0	8	0.5 61
2	nose	1	240	NOSE BREATHIN G	0.24 5	0.25 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	250	NOSE BREATHIN G	0.24 4	0.24 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	260	NOSE BREATHIN G	0.23 8	0.23 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	270	NOSE BREATHIN G	0.24 3	0.24 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	280	NOSE BREATHIN G	0.24 8	0.24 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	290	NOSE BREATHIN G	0.25 6	0.24 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	300	NOSE BREATHIN G	0.24 7	0.24 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	310	NOSE BREATHIN G	0.24 2	0.24	0	8	0.5 61
2	nose	1	320	NOSE BREATHIN G	0.21 8	0.22 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	330	NOSE BREATHIN G	0.22 7	0.22 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	340	NOSE BREATHIN G	0.21 9	0.22 1	0	8	0.5 61

2	nose	1	350	NOSE BREATHIN G	0.22 3	0.22 5	0	8	0.5 61
2	nose	1	360	NOSE BREATHIN G	0.20 5	0.20 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	370	NOSE BREATHIN G	0.21 1	0.21 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	380	NOSE BREATHIN G	0.20 7	0.20 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	390	NOSE BREATHIN G	0.21 2	0.21	0	8	0.5 61
2	nose	1	400	NOSE BREATHIN G	0.20 5	0.20 8	0	8	0.5 61
2	nose	1	410	NOSE BREATHIN G	0.21 4	0.21 4	0	8	0.5 61
2	nose	1	420	NOSE BREATHIN G	0.21 5	0.21 5	0	8	0.5 61
2	nose	1	430	NOSE BREATHIN G	0.20 2	0.20 3	0	8	0.5 61
2	nose	1	440	NOSE BREATHIN G	0.20 2	0.20 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	450	NOSE BREATHIN G	0.20 7	0.20 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	460	NOSE BREATHIN G	0.20 4	0.20 3	0	8	0.5 61
2	nose	1	470	NOSE BREATHIN G	0.20 2	0.20 5	0	8	0.5 61
2	nose	1	480	NOSE BREATHIN G	0.19 6	0.19 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	490	NOSE BREATHIN G	0.2 3	0.20 3	0	8	0.5 61
2	nose	1	500	NOSE BREATHIN G	0.21 4	0.21 1	0	8	0.5 61

2	nose	1	510	NOSE BREATHIN G	0.21 2	0.21 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	520	NOSE BREATHIN G	0.20 2	0.20 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	530	NOSE BREATHIN G	0.20 3	0.2	0	8	0.5 61
2	nose	1	540	NOSE BREATHIN G	0.20 6	0.20 4	0	8	0.5 61
2	nose	1	550	NOSE BREATHIN G	0.19 5	0.19 8	0	8	0.5 61
2	nose	1	560	NOSE BREATHIN G	0.21 1	0.20 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	570	NOSE BREATHIN G	0.19 6	0.2	0	8	0.5 61
2	nose	1	580	NOSE BREATHIN G	0.20 1	0.20 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	590	NOSE BREATHIN G	0.17 4	0.17 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	600	NOSE BREATHIN G	0.18 1	0.17 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	610	NOSE BREATHIN G	0.18	0.17 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	620	NOSE BREATHIN G	0.17 6	0.18 3	0	8	0.5 61
2	nose	1	630	NOSE BREATHIN G	0.19 7	0.19 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	640	NOSE BREATHIN G	0.18 4	0.18 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	650	NOSE BREATHIN G	0.18 5	0.18 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	660	NOSE BREATHIN G	0.18 9	0.18 8	0	8	0.5 61

2	nose	1	670	NOSE BREATHIN G	0.19	0.19	0	8	0.5 61
2	nose	1	680	NOSE BREATHIN G	0.19 2	0.19 1	0	8	0.5 61
2	nose	1	690	NOSE BREATHIN G	0.18 3	0.18 8	0	8	0.5 61
2	nose	1	700	NOSE BREATHIN G	0.18 7	0.18 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	710	NOSE BREATHIN G	0.18 7	0.18 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	720	NOSE BREATHIN G	0.18 9	0.19 2	0	8	0.5 61
2	nose	1	730	NOSE BREATHIN G	0.18 4	0.18 7	0	8	0.5 61
2	nose	1	740	NOSE BREATHIN G	0.16 9	0.17 4	0	8	0.5 61
2	nose	1	750	NOSE BREATHIN G	0.17 5	0.16 9	0	8	0.5 61
2	nose	1	760	NOSE BREATHIN G	0.18 8	0.20 6	0	8	0.5 61
2	nose	1	770	NOSE BREATHIN G	0.17 4	0.17 4	0	8	0.5 61
3	mout h	1	10	Mengumpul an...	0.41 9	0.41 3	0	3	0.5 61
3	mout h	1	20	NOSE BREATHIN G	0.55 1	0.53 9	0	8	0.5 61
3	mout h	1	30	NOSE BREATHIN G	0.59 2	0.55 3	0	8	0.5 61
3	mout h	1	40	MOUTH BREATHIN G	0.86 6	0.81 6	8	0	0.5 61
3	mout h	1	50	MOUTH BREATHIN G	0.63 2	0.67 1	8	0	0.5 61

3	mout h	1	60	MOUTH BREATHIN G	0.90 2	0.88 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	70	MOUTH BREATHIN G	0.71 8	0.74	8	0	0.5 61
3	mout h	1	80	MOUTH BREATHIN G	0.83 9	0.86 5	8	0	0.5 61
3	mout h	1	90	MOUTH BREATHIN G	0.88	0.88 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	100	MOUTH BREATHIN G	0.94 1	0.91 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	110	MOUTH BREATHIN G	0.94 3	0.90 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	120	MOUTH BREATHIN G	0.87 8	0.83 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	130	MOUTH BREATHIN G	0.90 6	0.88 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	140	MOUTH BREATHIN G	0.64	0.71 9	8	0	0.5 61
3	mout h	1	150	MOUTH BREATHIN G	0.72 7	0.66 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	160	MOUTH BREATHIN G	0.81 7	0.81 5	8	0	0.5 61
3	mout h	1	170	MOUTH BREATHIN G	0.68 2	0.71 2	8	0	0.5 61
3	mout h	1	180	MOUTH BREATHIN G	0.81 7	0.79 7	8	0	0.5 61
3	mout h	1	190	MOUTH BREATHIN G	0.80 9	0.78 6	8	0	0.5 61
3	mout h	1	200	MOUTH BREATHIN G	0.75 4	0.73 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	210	MOUTH BREATHIN G	0.69 3	0.73 7	8	0	0.5 61

3	mout h	1	220	MOUTH BREATHIN G	0.77 8	0.73 5	8	0	0.5 61
3	mout h	1	230	MOUTH BREATHIN G	0.71 6	0.76 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	240	MOUTH BREATHIN G	0.76 5	0.73 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	250	MOUTH BREATHIN G	0.67	0.69 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	260	MOUTH BREATHIN G	0.61	0.69 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	270	MOUTH BREATHIN G	0.70 5	0.70 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	280	MOUTH BREATHIN G	0.69 5	0.69 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	290	MOUTH BREATHIN G	0.69 5	0.66 9	8	0	0.5 61
3	mout h	1	300	MOUTH BREATHIN G	0.71 5	0.68 2	8	0	0.5 61
3	mout h	1	310	MOUTH BREATHIN G	0.60 4	0.63 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	320	MOUTH BREATHIN G	0.68 6	0.64 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	330	MOUTH BREATHIN G	0.68 6	0.65 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	340	MOUTH BREATHIN G	0.44 2	0.53 8	7	1	0.5 61
3	mout h	1	350	MOUTH BREATHIN G	0.83 5	0.79 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	360	MOUTH BREATHIN G	0.65 7	0.66 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	370	MOUTH BREATHIN G	0.65 3	0.70 5	8	0	0.5 61

3	mout h	1	380	MOUTH BREATHIN G	0.72 1	0.66 7	8	0	0.5 61
3	mout h	1	390	MOUTH BREATHIN G	0.65 5	0.68 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	400	MOUTH BREATHIN G	0.74 5	0.71 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	410	MOUTH BREATHIN G	0.59 4	0.61 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	420	MOUTH BREATHIN G	0.68 9	0.69 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	430	MOUTH BREATHIN G	0.67 3	0.62 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	440	MOUTH BREATHIN G	0.67 4	0.65 9	8	0	0.5 61
3	mout h	1	450	MOUTH BREATHIN G	0.61 9	0.58 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	460	MOUTH BREATHIN G	0.64 9	0.58 9	8	0	0.5 61
3	mout h	1	470	MOUTH BREATHIN G	0.53 2	0.56 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	480	MOUTH BREATHIN G	0.52 4	0.55 6	7	1	0.5 61
3	mout h	1	490	MOUTH BREATHIN G	0.64 5	0.62 7	7	1	0.5 61
3	mout h	1	500	MOUTH BREATHIN G	0.61 6	0.58 4	6	2	0.5 61
3	mout h	1	510	MOUTH BREATHIN G	0.59 3	0.58 6	8	0	0.5 61
3	mout h	1	520	NOSE BREATHIN G	0.72 6	0.65 2	2	6	0.5 61
3	mout h	1	530	NOSE BREATHIN G	0.65	0.58 7	2	6	0.5 61

3	mout h	1	540	MOUTH BREATHIN G	0.67	0.59 5	6	2	0.5 61
3	mout h	1	550	MOUTH BREATHIN G	0.76 1	0.79	8	0	0.5 61
3	mout h	1	560	MOUTH BREATHIN G	0.86 9	0.82 2	8	0	0.5 61
3	mout h	1	570	MOUTH BREATHIN G	0.73	0.75 3	8	0	0.5 61
3	mout h	1	580	MOUTH BREATHIN G	0.72 9	0.77 7	8	0	0.5 61
3	mout h	1	590	MOUTH BREATHIN G	0.78 8	0.73 9	8	0	0.5 61
3	mout h	1	600	MOUTH BREATHIN G	0.66	0.70 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	610	MOUTH BREATHIN G	0.74 9	0.77 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	620	MOUTH BREATHIN G	0.77 5	0.73 6	8	0	0.5 61
3	mout h	1	630	MOUTH BREATHIN G	0.60 1	0.63 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	640	MOUTH BREATHIN G	0.65 8	0.69 8	8	0	0.5 61
3	mout h	1	650	MOUTH BREATHIN G	0.73 3	0.68 1	8	0	0.5 61
3	mout h	1	660	MOUTH BREATHIN G	0.67 7	0.67 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	670	MOUTH BREATHIN G	0.65 1	0.59 4	8	0	0.5 61
3	mout h	1	680	MOUTH BREATHIN G	0.57 5	0.61 2	8	0	0.5 61
3	mout h	1	690	MOUTH BREATHIN G	0.68	0.66 8	8	0	0.5 61

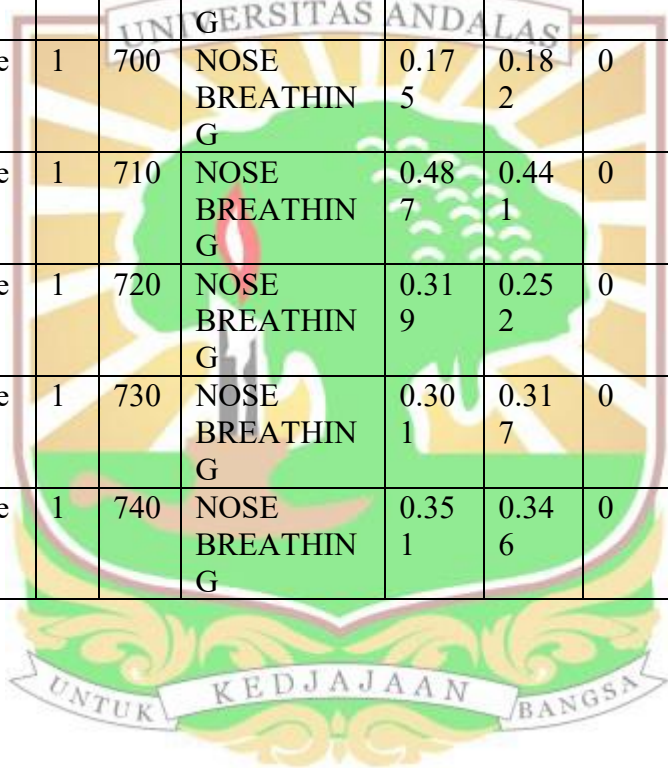
3	nose	1	10	Mengumpul an...	0.18 2	0.18 6	0	3	0.5 61
3	nose	1	20	NOSE BREATHIN G	0.20 3	0.20 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	30	NOSE BREATHIN G	0.18 8	0.19 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	40	NOSE BREATHIN G	0.22 5	0.20 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	50	NOSE BREATHIN G	0.20 6	0.20 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	60	NOSE BREATHIN G	0.22 8	0.21 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	70	NOSE BREATHIN G	0.23 8	0.23 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	80	NOSE BREATHIN G	0.24 9	0.24 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	90	NOSE BREATHIN G	0.24 8	0.24 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	100	NOSE BREATHIN G	0.25 5	0.25 4	0	8	0.5 61
3	nose	1	110	NOSE BREATHIN G	0.22 6	0.23 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	120	NOSE BREATHIN G	0.22 7	0.23 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	130	NOSE BREATHIN G	0.22 3	0.22 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	140	NOSE BREATHIN G	0.23 8	0.23 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	150	NOSE BREATHIN G	0.22 5	0.22 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	160	NOSE BREATHIN G	0.24 6	0.24 3	0	8	0.5 61

3	nose	1	170	NOSE BREATHIN G	0.26 8	0.25 4	0	8	0.5 61
3	nose	1	180	NOSE BREATHIN G	0.25 9	0.26 4	0	8	0.5 61
3	nose	1	190	NOSE BREATHIN G	0.25 9	0.25 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	200	NOSE BREATHIN G	0.24 7	0.25 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	210	NOSE BREATHIN G	0.25 8	0.25 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	220	NOSE BREATHIN G	0.27 3	0.25 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	230	NOSE BREATHIN G	0.25 6	0.25 9	0	8	0.5 61
3	nose	1	240	NOSE BREATHIN G	0.26	0.25 5	0	8	0.5 61
3	nose	1	250	NOSE BREATHIN G	0.24 8	0.25 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	260	NOSE BREATHIN G	0.21 5	0.21 5	0	8	0.5 61
3	nose	1	270	NOSE BREATHIN G	0.24 8	0.23 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	280	NOSE BREATHIN G	0.24 3	0.24 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	290	NOSE BREATHIN G	0.24 5	0.25 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	300	NOSE BREATHIN G	0.25 7	0.25 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	310	NOSE BREATHIN G	0.26 2	0.27 4	0	8	0.5 61
3	nose	1	320	NOSE BREATHIN G	0.25 3	0.25 3	0	8	0.5 61

3	nose	1	330	NOSE BREATHIN G	0.26 5	0.26 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	340	NOSE BREATHIN G	0.25 1	0.24 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	350	NOSE BREATHIN G	0.26 2	0.26	0	8	0.5 61
3	nose	1	360	NOSE BREATHIN G	0.24 3	0.24 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	370	NOSE BREATHIN G	0.23 3	0.23 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	380	NOSE BREATHIN G	0.23 6	0.24 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	390	NOSE BREATHIN G	0.23 6	0.24 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	400	NOSE BREATHIN G	0.25 4	0.25 9	0	8	0.5 61
3	nose	1	410	NOSE BREATHIN G	0.25 2	0.25 6	0	8	0.5 61
3	nose	1	420	NOSE BREATHIN G	0.22 8	0.22	0	8	0.5 61
3	nose	1	430	NOSE BREATHIN G	0.20 8	0.22	0	8	0.5 61
3	nose	1	440	NOSE BREATHIN G	0.23 3	0.23 9	0	8	0.5 61
3	nose	1	450	NOSE BREATHIN G	0.21 4	0.21 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	460	NOSE BREATHIN G	0.20 9	0.21 9	0	8	0.5 61
3	nose	1	470	NOSE BREATHIN G	0.21 4	0.21 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	480	NOSE BREATHIN G	0.22 7	0.22 2	0	8	0.5 61

3	nose	1	490	NOSE BREATHIN G	0.19 2	0.19 6	0	8	0.5 61
3	nose	1	500	NOSE BREATHIN G	0.18 9	0.19 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	510	NOSE BREATHIN G	0.19 8	0.19 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	520	NOSE BREATHIN G	0.21 3	0.21 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	530	NOSE BREATHIN G	0.21 9	0.21 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	540	NOSE BREATHIN G	0.19 2	0.19 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	550	NOSE BREATHIN G	0.23 6	0.23 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	560	NOSE BREATHIN G	0.20 4	0.20 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	570	NOSE BREATHIN G	0.23 7	0.23 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	580	NOSE BREATHIN G	0.21	0.20 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	590	NOSE BREATHIN G	0.20 3	0.20 4	0	8	0.5 61
3	nose	1	600	NOSE BREATHIN G	0.25	0.24 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	610	NOSE BREATHIN G	0.21 7	0.21 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	620	NOSE BREATHIN G	0.24 5	0.21 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	630	NOSE BREATHIN G	0.21 5	0.23	0	8	0.5 61
3	nose	1	640	NOSE BREATHIN G	0.19 2	0.20 5	0	8	0.5 61

3	nose	1	650	NOSE BREATHIN G	0.22 6	0.21 8	0	8	0.5 61
3	nose	1	660	NOSE BREATHIN G	0.18 1	0.18 5	0	8	0.5 61
3	nose	1	670	NOSE BREATHIN G	0.20 5	0.19 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	680	NOSE BREATHIN G	0.22 1	0.21 3	0	8	0.5 61
3	nose	1	690	NOSE BREATHIN G	0.24 7	0.24 9	0	8	0.5 61
3	nose	1	700	NOSE BREATHIN G	0.17 5	0.18 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	710	NOSE BREATHIN G	0.48 7	0.44 1	0	8	0.5 61
3	nose	1	720	NOSE BREATHIN G	0.31 9	0.25 2	0	8	0.5 61
3	nose	1	730	NOSE BREATHIN G	0.30 1	0.31 7	0	8	0.5 61
3	nose	1	740	NOSE BREATHIN G	0.35 1	0.34 6	0	8	0.5 61



Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mutiara Hikmah

NIM : 2111512030

Departemen : Teknik Komputer

Menyatakan bahwa telah melakukan pemeriksaan *similarity* dengan Turnitin dengan *similarity index* $\leq 25\%$. Hal ini dapat dilihat pada lampiran yang saya sertakan bersama dengan surat ini. Demikian surat pernyataan ini saya buat agar digunakan sebaik-baiknya.

Padang, 23 Agustus 2026

Yang bertanda tangan



Mutiara Hikmah
2111512030

Handwritten signature of Mutiara Hikmah.

laporan cek turnitin

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

www.scribd.com

Internet Source

1%

2

scholar.unand.ac.id

Internet Source

1%

3

ce.fti.unand.ac.id

Internet Source

<1%

4

adoc.pub

Internet Source

<1%

5

docplayer.info

Internet Source

<1%

6

repository.ar-raniry.ac.id

Internet Source

<1%

7

repository.its.ac.id

Internet Source

<1%

8

Disa M. Balansa, Vonny N. S. Wowor, Sherly M. Gosal. "Pengaruh Kebiasaan Bernapas Melalui Mulut terhadap Terjadinya Maloklusi", e-GiGi, 2023

Publication

<1%

9

www.inibalikpapan.com

Internet Source

<1%

10

Submitted to Universitas Brawijaya

Student Paper

<1%

11

etheses.uin-malang.ac.id

Internet Source

<1%

12

123dok.com

Internet Source

<1%

13

idoc.pub

Internet Source

<1%

14

see.telkomuniversity.ac.id

Internet Source

<1%

www.credihealth.com