

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Tidur adalah salah satu kebutuhan fundamental bagi manusia. Setiap individu memerlukan tidur yang cukup untuk memulihkan energi dan menjaga kesehatan tubuh. Secara umum, orang dewasa membutuhkan sekitar 7-8 jam tidur per hari untuk berfungsi secara optimal [1]. Kualitas tidur yang buruk dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan fisik dan mental. Salah satu gangguan tidur yang sering terjadi namun kerap diabaikan adalah *sleep apnea*, khususnya *Obstructive Sleep Apnea* (OSA). Prevalensi gangguan pernapasan saat tidur (*Sleep Disordered Breathing* atau SDB termasuk *Obstructive Sleep Apnea* (OSA), dilaporkan sangat tinggi. Pasien dengan OSA tingkat sedang hingga berat mencakup sekitar 20% pria dewasa dan 10% wanita pascamenopause, tidak hanya di negara-negara Barat tetapi juga di negara-negara Timur [2].

Sleep apnea adalah gangguan tidur yang menyebabkan pernapasan seseorang berhenti sementara beberapa kali saat tidur karena obstruksi saluran napas bagian atas. Kondisi ini sering ditandai dengan gejala seperti mendengkur, terbangun mendadak dengan rasa sesak, dan perasaan tetap mengantuk meskipun sudah tidur dalam waktu yang lama. Penderita *sleep apnea* dapat mengalami jeda napas sekitar 10 detik atau lebih yang disebabkan oleh penyumbatan saluran pernapasan [3]. Selain itu, ada juga hipopnea didefinisikan sebagai penurunan aliran udara $\geq 30\%$ selama 10 detik yang disertai dengan desaturasi oksigen $\geq 4\%$ [4].

Kurangnya aliran udara yang konsisten selama tidur dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen dalam darah (SpO₂). Secara normal, kadar oksigen dalam darah berada pada rentang 95%-100% saat tidur maupun terjaga [3]. Namun, pada penderita *sleep apnea*, jeda napas yang berulang menyebabkan kadar oksigen dalam darah turun drastis hingga di bawah 92%, yang dianggap sebagai kondisi hipoksemia. Hipoksemia ini dapat menyebabkan jaringan tubuh kekurangan oksigen, sehingga memicu gejala seperti kelelahan, sesak napas, hingga gangguan kognitif. Dalam jangka panjang, hipoksia yang berulang akibat *sleep apnea*

meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, stroke, aneurisma otak, dan penurunan fungsi otak [5].

Salah satu tanda utama yang sering dikaitkan dengan *sleep apnea* adalah mendengkur (*snoring*). Vibrasi pada saluran napas atas akibat hambatan aliran udara menghasilkan suara mendengkur yang dapat menjadi gejala awal *sleep apnea* [6]. Mendengkur ringan mungkin tidak mengganggu kualitas tidur secara keseluruhan, mendengkur berat mungkin berhubungan dengan *sleep apnea*. Mendengkur yang berat sering kali disertai dengan gejala tambahan seperti mendengus, tersedak, atau terbangun dengan rasa sesak. Diperkirakan 45% orang dewasa mendengkur sesekali, sementara 25% mendengkur secara teratur [7]. Selain itu, terdapat perbedaan signifikan berdasarkan gender, di mana 40% dari pendengkur adalah pria, sementara 24% adalah wanita [8], [9], [10], [11]. Gejala ini sering diabaikan dan dianggap sebagai tanda seseorang mendapatkan kualitas tidur yang baik oleh sebagian orang yang tidak selalu menyadari gangguan tersebut [12]. Namun, kenyataannya, mendengkur bisa menjadi indikasi adanya masalah kesehatan yang lebih serius, seperti kelelahan kronis, hipertensi, penyakit jantung, dan penurunan produktivitas harian. Berdasarkan data Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), jumlah kematian akibat penyakit kardiovaskular di Indonesia mencapai 251,09 per 100.000 penduduk pada tahun 2019. Angka ini meningkat 1,25 persen dari tahun sebelumnya yang tercatat sebanyak 247,99 kematian per 100.000 penduduk [12].

Stakeholder dalam masalah ini adalah setiap individu, terutama mereka yang sering mendengkur saat tidur. Mendengkur dapat menjadi tanda awal dari gangguan tidur seperti *sleep apnea*, yang sering kali diabaikan. Selain itu, keluarga atau orang yang tidur di sekitar penderita juga dapat terdampak oleh suara mendengkur yang mengganggu [13].

Dengan menyelesaikan masalah ini, individu dapat segera mendapatkan intervensi yang tepat waktu. Hal ini akan berdampak pada peningkatan kualitas tidur dan kesehatan jangka panjang. Pada akhirnya, penyelesaian masalah ini tidak hanya meningkatkan kualitas hidup individu, tetapi juga membantu mengurangi risiko

penyakit kronis yang sering kali muncul akibat gangguan tidur yang tidak terdeteksi.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Obstructive Sleep Apnea (OSA) ini dapat mempengaruhi kadar oksigen dalam darah akibat kurangnya asupan udara yang konsisten saat tidur. Pada siang hari, kadar oksigen dalam darah—yang juga dikenal sebagai saturasi oksigen—umumnya berada pada rentang 95%-100% pada individu sehat, baik saat terjaga maupun saat tidur [3], [14]. Jeda napas yang berulang atau berkepanjangan saat tidur dapat menyebabkan kadar oksigen menurun hingga di bawah normal, yang disebut hipoksemia terkait tidur. Tingkat saturasi oksigen di bawah 92% memerlukan intervensi medis, sementara nilai di bawah 88% membutuhkan perhatian medis segera [15].

Kondisi ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti kelelahan kronis, hipertensi, penyakit jantung, dan bahkan stroke dalam jangka panjang. Selain dampak hipoksemia, gejala yang sering ditemukan pada penderita *sleep apnea* adalah mendengkur (*snoring*). Mendengkur bukan hanya mengganggu, tetapi sekitar 75% individu yang mendengkur juga mengalami apnea tidur obstruktif (gangguan pernapasan sementara saat tidur), yang dapat meningkatkan risiko penyakit jantung [16].

Mendengkur terjadi akibat getaran jaringan lunak pada saluran napas atas, seperti dinding faring, langit-langit lunak, uvula, dan tonsil, yang diakibatkan oleh obstruksi parsial. Mendengkur umumnya terjadi ketika seseorang tidur telentang (*supine position*). Posisi tidur telentang dikaitkan dengan durasi dan intensitas mendengkur yang lebih tinggi, sedangkan tidur dalam posisi lateral dapat mengurangi frekuensi dan durasi [17]. Langkah ini dapat membantu menjaga saluran napas tetap terbuka dan mengurangi risiko mendengkur.

Mendeteksi suara mendengkur dapat menjadi langkah awal untuk mengeksplorasi metode deteksi OSA tanpa kontak [18]. Batas atas untuk rentang frekuensi suara ditetapkan pada 2.000 Hz, karena sebagian besar suara mendengkur dihasilkan pada frekuensi di bawah 2.000 Hz [19], [20]. Tingkat intensitas dengkur dapat

diklasifikasikan berdasarkan tingkat desibel maksimum rata-rata, yaitu ringan (40-50 dB), sedang (50-60 dB), dan berat (> 60 dB) [16]. Dalam referensi lain suara dengkur tercatat memiliki intensitas sekitar 90 hingga 100 dB [21], dan hal ini berpotensi menyebabkan gangguan pendengaran pada orang yang tidur di dekat pendengkur.

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengatasi tantangan dalam mendeteksi OSA. Salah satu metode yang sering digunakan adalah *Polysomnography* (PSG), yang dikenal sebagai standar emas dalam diagnosis sleep apnea. PSG mengevaluasi berbagai parameter tidur dan pernapasan, seperti aktivitas otak, detak jantung, otot, oksigen darah, aliran udara, dan upaya pernapasan. Meskipun akurat, PSG memiliki keterbatasan seperti biaya tinggi, ketidaknyamanan bagi pasien, serta proses pencatatan dan interpretasi data yang kompleks. Selain itu, PSG tidak memberikan peringatan secara real-time, sehingga tidak efektif untuk memberikan respons segera terhadap kondisi kritis selama tidur [22]. Terkait deteksi dengkur, penelitian [23] melakukan klasifikasi suara dalam data audio dengan label *Snoring* dan *Nonsnoring*. Sebanyak 129 model *neural network* telah diimplementasikan, dibandingkan, dan dianalisis. Model terpilih dengan akurasi sebesar 96,38% dengan model berupa *binary classifier*. Penelitian ini masih terbatas pada eksplorasi struktur jaringan dan hyperparameter. Dalam penelitian [24] juga dikembangkan alat deteksi mendengkur berbasis *deep learning* yang terhubung dengan modul *listener* untuk mendeteksi mendengkur secara otomatis. Alat *wearable* memberikan notifikasi getaran pada lengan atas apabila terdeteksi kejadian mendengkur dengan akurasi 96%. Namun, perangkat ini bergantung pada daya listrik PLN, memerlukan sumberdaya komputasi yang besar, dan tidak dilengkapi dengan pemantauan SpO2. Alternatif lain yang tersedia di pasar saat ini mencakup berbagai perangkat *wearable* dengan fitur yang relevan untuk memantau kondisi tidur. Salah satunya adalah Galaxy Watch [25], yang memiliki kemampuan untuk memantau kadar oksigen dalam darah (SpO2) dan dilengkapi dengan fitur deteksi mendengkur. Namun, meskipun fitur-fitur ini berguna untuk memantau kondisi tidur, Galaxy Watch memiliki keterbatasan karena tidak memberikan peringatan *real-time* jika kadar SpO2 pengguna berada di bawah ambang normal. Hal ini membuat pengguna

tidak dapat segera mengetahui kondisi yang memerlukan perhatian, seperti penurunan saturasi oksigen secara signifikan.

Solusi lain, ada perangkat seperti *LOOKEE Wrist Sleep Oxygen Monitor* [26], yang mana dapat memberikan peringatan ketika saturasi oksigen dalam darah rendah. Perangkat ini juga dapat melacak kadar oksigen dalam darah dan detak jantung selama tidur. Namun, [26] tidak memiliki fitur untuk mendeteksi suara mendengkur ataupun memberikan peringatan terkait kejadian mendengkur. Keterbatasan ini membuatnya kurang ideal untuk ingin memantau gangguan tidur seperti gejala *sleep apnea* yang sering ditandai dengan mendengkur.

1.1.2 Analisa Masalah

1. Aspek Ekonomi

Pemeriksaan medis untuk gangguan tidur, seperti polisomnografi di rumah sakit, seringkali memerlukan biaya yang tinggi, baik untuk peralatan maupun konsultasi dengan tenaga medis.

2. Aspek Budaya

Dalam beberapa budaya, mendengkur sering dianggap hal yang wajar atau sepele [3], [6] sehingga kesadaran akan pentingnya deteksi dini terhadap gangguan tidur seperti *Obstructive Sleep Apnea* (OSA) bisa rendah. Sistem ini harus dirancang dengan mempertimbangkan edukasi masyarakat agar meningkatkan kesadaran akan dampak kesehatan dari mendengkur.

3. Aspek Kesehatan

Gangguan tidur, seperti mendengkur dan apnea, memiliki dampak langsung terhadap kesehatan kardiovaskular, metabolisme, dan kesehatan mental. Sistem ini memberikan peringatan dini, memungkinkan pengguna untuk mengambil langkah.

4. Aspek Sosial

Gangguan tidur, seperti mendengkur, tidak hanya mempengaruhi kesehatan individu tetapi juga mengganggu kualitas tidur orang lain di sekitarnya.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisa yang telah dipaparkan, perancangan alat dari solusi yang akan dirancang memerlukan beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi untuk mencapai hasil yang diharapkan. Berikut adalah kebutuhan yang harus dipenuhi:

1. Sistem harus mampu memantau suara dan saturasi oksigen selama pengguna tidur serta mendeteksi kejadian mendengkur atau kondisi saturasi oksigen di bawah normal.
2. Sistem harus dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna jika terdeteksi kejadian mendengkur atau kondisi saturasi oksigen di bawah normal.
3. Sistem dapat terhubung secara *real-time* untuk memastikan pemantauan dan pemberian peringatan.
4. Sistem dapat melakukan pemantauan minimal selama 6 jam.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi, tujuan dari solusi ini adalah untuk merancang alat yang dapat memantau dan mendeteksi suara dengkur serta saturasi oksigen secara *real-time*, dan memberikan peringatan dini kepada pengguna saat mendengkur terdeteksi atau saturasi oksigen berada di bawah normal. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengambil tindakan, seperti mengubah posisi tidur, untuk mencegah risiko yang lebih serius.

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

1. Fitur Dasar
 - a. *Computing Performance*

Sistem komputasi harus memproses data sensor secara *real-time* untuk mendeteksi gangguan pernafasan saat tidur tanpa penundaan.

- b. *Sensing Capability*

Sistem harus dilengkapi dengan sensor atau komponen yang mampu menangkap suara dan mendeteksi suara dengkur, serta memantau saturasi oksigen darah secara akurat.

c. Metode Komputasi

Metode komputasi berperan sebagai inti dari sistem yang dirancang. Data yang diperoleh dari sensor akan diolah menggunakan metode komputasi dan menghasilkan output berupa peringatan dini ketika gangguan pernapasan atau penurunan saturasi oksigen dibawah rentang normal terdeteksi.

d. Notifikasi Pengguna

Sistem harus memberikan notifikasi kepada pengguna melalui suara, getaran, atau notifikasi ke smartphone ketika mendeteksi gangguan seperti kejadian mendengkur atau penurunan saturasi oksigen darah di bawah ambang normal.

e. Portabel & dapat beroperasi tanpa daya listrik PLN

Sistem dirancang agar portabel dan mampu beroperasi tanpa bergantung pada daya listrik PLN, sehingga tetap dapat berfungsi meskipun terjadi pemadaman listrik.

2. Fitur Tambahan

a. *Low Cost*

Sistem dapat diselesaikan dengan biaya yang tidak lebih dari Rp 2.000.000

b. *Low Power*

Sistem harus didesain dengan konsumsi daya yang rendah untuk memastikan dapat digunakan sepanjang malam.

c. Waktu Pengerjaan < 6 Bulan:

Proses perancangan hingga pengembangan sistem harus dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 6 bulan.

d. Dilengkapi dengan Software dan fitur unggulan:

Sistem terintegrasi dengan aplikasi yang dapat menyimpan dan mencatat data pemantauan pengguna, memungkinkan pengguna untuk meninjau riwayat gangguan yang terdeteksi dari waktu ke waktu. Terdapat juga fitur pemantauan posisi tubuh yang bisa menjadi fitur unggulan solusi diusulkan.

e. Mudah digunakan:

Sistem mudah digunakan oleh pengguna. Sistem juga dilengkapi petunjuk penggunaan untuk memudahkan pengguna.

f. Kenyamanan Pengguna:

Sistem dapat memberikan pengalaman pengguna yang baik, dan nyaman saat digunakan.

1.2.2 Usulan Solusi

1.2.2.1 Solusi 1

“Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kondisi Mendengkur dan Saturasi Oksigen Berbasis Mikrokontroler dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic*”

Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kondisi Mendengkur dan Saturasi Oksigen Berbasis Mikrokontroler dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic dirancang untuk memantau dan mendeteksi suara mendengkur serta kondisi saturasi oksigen pengguna secara otomatis. Alat ini terdiri dari 2 perangkat. Perangkat pertama, berbentuk kalung yang dilengkapi dengan sensor suara untuk mendeteksi suara mendengkur dan perangkat kedua nantinya terdapat sensor untuk memantau saturasi oksigen pada jari pengguna. Data yang diperoleh dari sensor suara dan sensor oksigen diproses secara real-time oleh mikrokontroler dan dikirim ke aplikasi mobile untuk data log. Maka dari itu solusi ini memenuhi kebutuhan yang sudah ditetapkan.

Fuzzy logic adalah metode untuk membuat keputusan yang tidak hanya terbatas pada pilihan "Ya" atau "Tidak" seperti pada logika biasa. Sebaliknya, dalam logika fuzzy, nilai keanggotaan dapat berada di antara 0 dan 1, sehingga suatu kondisi bisa memiliki nilai "Ya dan Tidak" sekaligus, dengan bobot keanggotaan yang mencerminkan tingkat kebenarannya [27].

Sensor suara akan menangkap suara mendengkur, yang diklasifikasikan menjadi tiga level: ringan (40-50 dB), sedang (50-60 dB), dan berat (>60 dB). Selain itu, deteksi saturasi oksigen dilakukan dengan menggunakan tiga himpunan fuzzy: normal (>95%), waspada (88-95%), dan bahaya (<88%). Data dari sensor ini akan dikirimkan ke mikrokontroler untuk diolah. Sistem ini menggunakan metode Fuzzy Logic untuk menentukan notifikasi kepada pengguna berdasarkan kondisi kondisi yang telah ditetapkan dalam aturan fuzzy.

Peringatan ini akan dikirimkan kepada pengguna melalui perangkat pintar yang terhubung, memberikan notifikasi berupa alarm *buzzer* atau motor getar. Sistem ini dapat terhubung ke aplikasi *smartphone*, memastikan pemantauan dan peringatan dilakukan tanpa penundaan. Sistem ini beroperasi menggunakan daya dari baterai isi ulang yang dapat bertahan hingga 6 jam, memenuhi kebutuhan pemantauan dalam durasi tersebut.

1.2.2.2 Solusi 2

“*Wearable Device* untuk Peringatan Dini Mendengkur Berbasis *Neural Network* dengan TinyML serta Peringatan Dini dan Monitoring Saturasi Oksigen Rendah untuk Mencegah Gejala *Sleep Apnea*”

Sistem ini dirancang untuk mendeteksi suara mendengkur dan memantau saturasi oksigen pengguna, dengan tujuan memberikan peringatan dini terkait mendengkur atau kondisi saturasi oksigen dibawah normal. Sistem ini berbentuk perangkat *wearable*. Sistem terdiri dari dua perangkat. Perangkat pertama mendeteksi suara mendengkur dan mengklasifikasikannya secara *real-time*, sementara perangkat kedua menerima data status deteksi dari perangkat pertama dan memantau saturasi oksigen pengguna. Perangkat ini mengirimkan peringatan jika kondisi terpenuhi.

Sistem dapat terhubung secara *real-time* untuk pemantauan dan pemberian peringatan, serta beroperasi selama minimal enam jam dengan baterai isi ulang. Dengan demikian, solusi ini memenuhi kebutuhan yang telah ditetapkan.

Neural network adalah metode yang digunakan dalam kecerdasan buatan dan *machine learning*. Metode ini meniru cara kerja otak manusia, di mana sistem memproses informasi dari input yang diberikan untuk menghasilkan output yang tepat. *Neural Network* sering digunakan untuk tugas-tugas seperti pengenalan pola, prediksi, dan klasifikasi data [28] Pada solusi ini, *Neural Network* digunakan untuk melakukan klasifikasi suara untuk mengenali suara. Sistem ini dibagi menjadi dua kelas klasifikasi: mendengkur dan tidak mendengkur. Adapun landasan menggunakan neural network untuk pengenalan suara mendengkur seperti pada jurnal [24] model *deep learning* mencapai akurasi 96%, kemudian dalam jurnal [18] deteksi mendengkur berbasis audio dengan *neural network* menunjukkan akurasi 95,3%, sensitivitas 92,2%, dan spesifisitas 97,7%.

Perangkat pertama berfungsi sebagai *listener* yang menangkap suara dengkur pengguna melalui mikrofon yang terpasang pada perangkat *wearable*. Suara yang ditangkap akan diproses secara *real-time* dengan menggunakan model *Neural Network* yang telah dilatih untuk mengklasifikasikan suara menjadi dua kelas: mendengkur dan tidak mendengkur. Model ini diimplementasikan langsung pada mikrokontroler perangkat pertama, yang memproses data suara secara lokal menggunakan algoritma TinyML, memungkinkan pengklasifikasian mendengkur secara efisien dan cepat. Jika suara dengkur terdeteksi, status ini akan dikirim melalui koneksi nirkabel (misalnya *Bluetooth Low Energy*) ke perangkat kedua untuk pemrosesan lebih lanjut.

Perangkat kedua memiliki dua fungsi utama. Pertama, perangkat ini menerima data dari perangkat pertama terkait status deteksi suara dengkur dan menggabungkannya dengan informasi dari sensor saturasi oksigen. Sensor oksigen ditempatkan di jari pengguna untuk memantau kadar oksigen dalam darah secara terus-menerus. Sistem ini menggunakan ambang batas yang telah ditentukan: saturasi oksigen normal berada di atas 95%, rentang waspada antara 88-95%, dan

kondisi bahaya di bawah 88%. Jika saturasi oksigen terdeteksi berada dalam rentang waspada atau bahaya, atau jika suara dengkur terdeteksi, perangkat kedua akan mengaktifkan peringatan dini. Peringatan ini dapat berupa alarm suara, getaran, atau tampilan informasi pada layar.

Selain itu, perangkat kedua ini juga dapat mengunggah data secara *real-time* ke *smartphone*, menggunakan konektivitas BLE. Pengguna dapat mengakses data dan log aktivitas tidur mereka melalui aplikasi *smartphone* yang terintegrasi dengan sistem, memungkinkan pemantauan jangka panjang terhadap kondisi tidur dan kesehatan mereka.

Sistem akan di desain portable dan casing menarik. Sistem ini memanfaatkan daya dari baterai isi ulang, yang dapat bertahan hingga enam jam, untuk memastikan perangkat dapat berfungsi sepanjang malam tanpa bergantung pada sumber listrik PLN. Dikutip dari jurnal [29] tentang faktor yang perlu dipertimbangkan saat memilih *wearable sleep tracker* yakni posisi pemasangan perangkat sangat penting karena dapat mempengaruhi kinerjanya, sehingga sesi pelatihan dan pemahaman kepada pengguna terhadap pedoman pemasangan sangat penting. pelatihan ini dapat mengurangi kemungkinan kesalahan dalam penempatan perangkat.

1.2.2.3 Solusi 3

“Sistem Peringatan Dini Dengkur dan Pemantauan Posisi Tubuh dengan Neural Network dan *Anomaly Detection K-Means Clustering* Berbasis *Single Board Computer*, serta Monitoring SpO2”

Sistem ini terdiri dari tiga perangkat utama: Perangkat 1 yang berfungsi sebagai pendeteksi dengkur, yaitu mikrofon yang dipasang di atas tempat tidur pengguna terhubung dengan SBC untuk menangkap suara dengkur selama tidur, Perangkat 2 yang berfungsi untuk mendeteksi saturasi oksigen yang terpasang di jari pengguna. Perangkat 3 berupa perangkat *wearable* dengan sensor akselerometer untuk deteksi gerakan di dada. Sistem dapat terhubung secara *real-time* untuk memastikan pemantauan dan pemberian peringatan apabila kondisi terpenuhi. Sistem dapat melakukan pemantauan minimal selama 6 jam dengan menggunakan

sumber daya listrik PLN dan menggunakan adaptor. Oleh karena itu, solusi ini memenuhi kebutuhan yang sudah ditetapkan.

Prinsip kerja sistem ini dimulai dengan mikrofon yang merekam suara, sementara secara bersamaan Perangkat 3 mengirimkan fitur spektral (nilai akselerometer) ke *Single Board Computer* (SBC) untuk diproses. Sama seperti pada Solusi 2, kedua parameter ini diklasifikasikan menggunakan algoritma *neural network*. Data suara diklasifikasikan ke dalam dua kelas: dengkur dan non-dengkur. Sementara itu, fitur spektral digunakan untuk mengenali posisi tubuh, yang diklasifikasikan ke dalam empat kelas: telentang (*supine*), miring ke kiri, miring ke kanan, dan telungkup. Kedua proses ini berjalan secara multi-impulse dan dilakukan secara paralel.

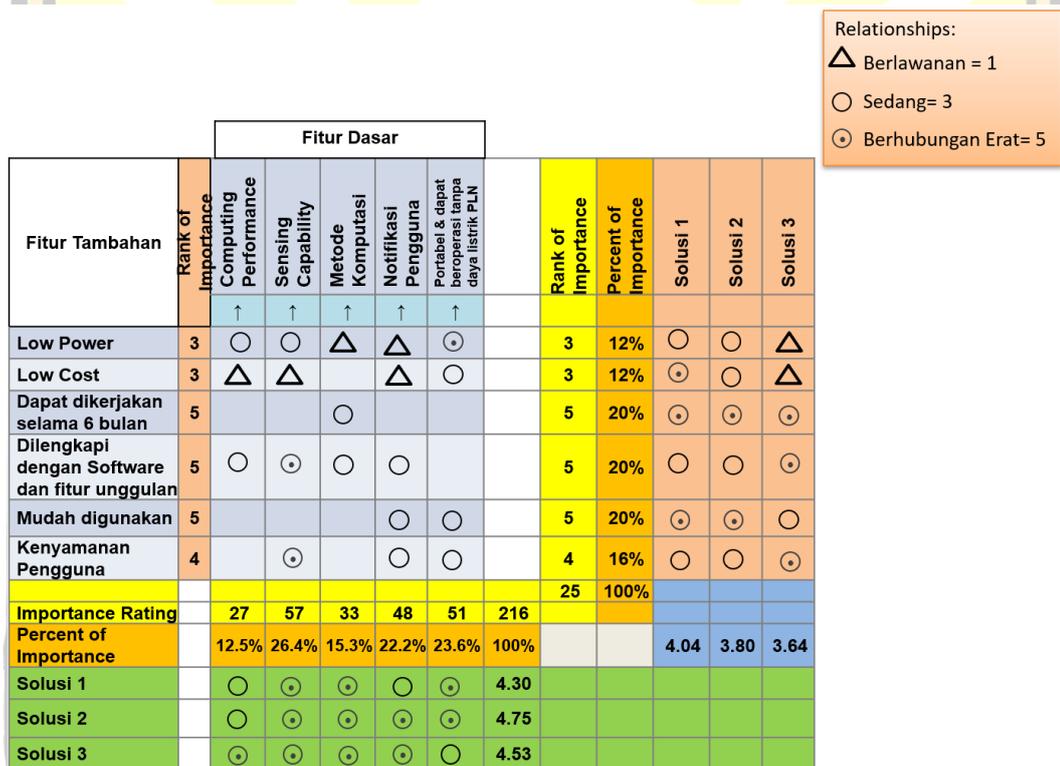
K-Means Clustering adalah algoritma *unsupervised learning* yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam sejumlah *cluster* berdasarkan kemiripan. Algoritma ini bekerja dengan menentukan jumlah *cluster*(k), memilih centroid awal, dan kemudian menugaskan setiap data ke *cluster* berdasarkan jarak terdekat ke *centroid*. Setelah itu, posisi *centroid* diperbarui dengan menghitung rata-rata data dalam *cluster*, dan proses ini diulangi hingga posisi *centroid* stabil atau iterasi maksimum tercapai. Hasil akhirnya adalah pengelompokan data di mana data dalam satu cluster memiliki kemiripan yang lebih tinggi dibandingkan dengan data di *cluster* lain [30]. Telah dilakukan pada penelitian [31] di mana algoritma ini berguna dalam deteksi gerakan untuk memisahkan dan membuang anomali gerakan dengan akurasi 99,95%.

Ketika suara dengkur dan posisi tubuh berhasil terdeteksi, status ini akan disimpan dalam variabel dan menunggu data dari node perangkat 2 dilengkapi dengan sensor untuk memantau saturasi oksigen pengguna secara *real-time*. Hasil perhitungan saturasi oksigen ini akan dikirimkan ke SBC secara nirkabel (*wireless*) untuk pemrosesan notifikasi apabila kondisi terpenuhi. Jika saturasi oksigen berada di bawah rentang normal, sistem akan memberikan peringatan dini kepada pengguna.

Sistem dapat terhubung secara *real-time* dan melakukan pemantauan hingga 6 jam, selain itu data hasil pemantauan kondisi mendengkur dan saturasi oksigen akan dikirim langsung ke aplikasi *smartphone*.

1.2.3 Analisa Usulan Solusi

Untuk menentukan solusi terbaik, diperlukan analisis terhadap berbagai solusi yang telah diajukan. Metode analisis yang akan digunakan adalah metode *House of Quality* (HoQ) seperti yang terlihat pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 *House of Quality*

Gambar 1.1 menunjukkan *House of Quality* menggambarkan hubungan antara fitur dasar dan fitur tambahan dari solusi yang diusulkan, yang kemudian diakumulasikan dalam bentuk *Percent of Importance*. Persentase ini menunjukkan seberapa penting fitur dasar, sehingga dapat dihitung solusi mana yang memiliki skor tertinggi.

Dimulai dengan menentukan *Rank of Importance* untuk setiap fitur tambahan. *Rank of Importance* adalah urutan prioritas yang menunjukkan seberapa penting setiap fitur tambahan bagi solusi yang dirancang. Nilai ini berada dalam skala 1 hingga 5,

di mana 5 menunjukkan fitur yang sangat diprioritaskan, sedangkan 1 adalah yang paling rendah prioritasnya. Sebagai contoh, fitur seperti "Dapat dikerjakan selama 6 bulan" dan "Dilengkapi dengan software dan fitur unggulan" mendapatkan nilai 5, yang mana fitur ini sangat krusial dalam solusi yang akan dipilih. Sebaliknya, fitur seperti "*Low Power*" dan "*Low Cost*" mendapatkan nilai 3, yang berarti fitur ini cukup penting, tetapi tidak setinggi fitur yang lainnya.

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan antara fitur dasar dan fitur tambahan. Hubungan ini ditunjukkan dengan simbol-simbol seperti segitiga yang berarti berlawanan bernilai 1, lingkaran yang berarti sedang bernilai 3, dan lingkaran dengan titik hitam berarti berhubungan erat yang bernilai 5. Fitur dasar yang dipertimbangkan semuanya memiliki arah panah ke atas, hal ini menunjukkan bahwa performa meningkat sejalan dengan fitur tambahan nantinya.

Pertama dilihat hubungan antara fitur tambahan dan fitur dasar yaitu *Low Power* dan *Computing Performance*. Hubungan antara *Low Power* dan *Computing Performance* diberi tanda lingkaran yang menunjukkan hubungan sedang. Ini berarti bahwa meskipun ada hubungan antara keduanya, hubungan tersebut tidak terlalu kuat. Secara teknis, semakin tinggi kemampuan komputasi suatu sistem (misalnya penggunaan mikrokontroler atau *Single Board Computer (SBC)*), cenderung akan membutuhkan daya yang lebih besar. Namun, dengan teknologi modern, ada banyak solusi yang memungkinkan performa komputasi tinggi dengan konsumsi daya yang cukup efisien, sehingga hubungan ini dinilai sedang.

Selanjutnya, yaitu *Low Power* dan *Sensing Capability*. Hubungan antara *Low Power* dan *Sensing Capability* juga dinilai sedang. Sensor maupun komponen yang akan digunakan dalam setiap solusi ini memerlukan daya, namun kebutuhan dayanya tidak sebesar komputasi. Dengan teknologi sensor yang semakin efisien dalam konsumsi daya, hubungan antara konsumsi daya rendah dan kemampuan sensor dapat dinilai sedang, di mana pengaruhnya tidak terlalu kuat namun juga tidak diabaikan. Selanjutnya, *Low Power* dan Metode Komputasi. Hubungan antara *Low Power* dan Metode Komputasi diberi tanda segitiga, yang menandakan hubungan berlawanan. Alasannya adalah bahwa metode komputasi yang lebih kompleks, seperti penggunaan algoritma yang lebih berat, cenderung meningkatkan

kebutuhan daya. Oleh karena itu, semakin rendah daya yang digunakan, semakin sulit untuk menerapkan metode komputasi yang lebih canggih.

Hubungan *Low Power* dan Notifikasi Pengguna diberi tanda segitiga. Alasan hubungan ini berlawanan adalah bahwa tentunya sistem notifikasi memerlukan daya tambahan. Jika semakin banyak komponen untuk notifikasi maka tentunya akan mengkonsumsi daya yang lebih besar. Kemudian, hubungan antara *low power* dengan fitur *portable* dan kemampuan beroperasi tanpa daya listrik PLN sangat erat. Sistem yang membutuhkan daya rendah memungkinkan penggunaan sumber energi sederhana seperti baterai isi ulang, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan kepraktisan perangkat.

Fitur tambahan kedua yaitu *Low Cost* dan *Computing Performance*. Hubungan antara *Low Cost* dan *Computing Performance* diberi simbol segitiga karena kedua aspek ini berlawanan. Semakin tinggi performa komputasi yang dibutuhkan, semakin besar pula kebutuhan perangkat keras yang lebih canggih, seperti mikrokontroler atau *Single Board Computers* (SBC) dengan spesifikasi tinggi secara teknis akan meningkatkan biaya. Selanjutnya, hubungan antara *Low Cost* dan *Sensing Capability* dianggap berlawanan. Ini karena beberapa sensor relatif murah tetapi memiliki akurasi yang rendah, sedangkan sensor yang lebih mahal tentu lebih akurat dan sensitif. Selanjutnya, hubungan antara *Low Cost* dan Notifikasi Pengguna dinilai berlawanan. Notifikasi pengguna, terutama melalui aktuator, bisa menambah biaya jika menggunakan perangkat tambahan seperti *buzzer* ataupun motor getar. Hubungan antara *Low Cost* dengan fitur *portable* dinilai sedang, karena beberapa sistem membutuhkan sumber daya seperti baterai isi ulang, yang dapat menambah sedikit biaya.

Fitur tambahan ketiga yaitu Dapat dikerjakan selama 6 bulan yang berhubungan sedang dengan Metode Komputasi. Hal ini karena pengerjaan metode komputasi akan memerlukan waktu. Fitur tambahan selanjutnya yaitu Dilengkapi dengan software dan fitur unggulan yang menunjukkan hubungan sedang dengan semua fitur dasar kecuali pada *Sensing Capability*. Fitur unggulan seperti pemantauan posisi tubuh berhubungan erat dengan *sensing capability*.

Hubungan antara fitur tambahan Mudah digunakan dan Notifikasi Pengguna sedang. Ini karena sistem yang mudah digunakan sangat bergantung pada seberapa efektif notifikasi disampaikan kepada pengguna. Jika notifikasi mudah dipahami atau dengan alarm yang jelas, maka pengguna akan lebih mudah menggunakan sistem. Selain itu, hubungan dengan fitur portabilitas juga dinilai sedang, karena perangkat portabel cenderung lebih praktis dan mendukung kemudahan penggunaan. Terakhir, hubungan antara fitur tambahan Kenyamanan Pengguna dan *Sensing Capability* sangat erat, karena posisi dan desain komponen sensor sangat mempengaruhi kenyamanan pengguna. Hubungan dengan Notifikasi Pengguna dinilai sedang, karena jenis dan cara penyampaian notifikasi dapat mempengaruhi tingkat kenyamanan, misalnya suara alarm yang terlalu keras atau getaran yang mengganggu. Adapun hubungannya dengan fitur portabilitas juga dinilai sedang, karena perangkat portabel yang ringan dan mudah dibawa cenderung memberikan kenyamanan lebih bagi pengguna.

Berikut nilai terhadap masing masing solusi yang diajukan adalah :

$$1. (3 \times 12.5\%) + (5 \times 26.4\%) + (5 \times 15.3\%) + (3 \times 22.2\%) + (5 \times 23.6\%) = 4.30$$

$$2. (3 \times 12.5\%) + (5 \times 26.4\%) + (5 \times 15.3\%) + (5 \times 22.2\%) + (5 \times 23.6\%) = 4.75$$

$$3. (5 \times 12.5\%) + (5 \times 26.4\%) + (5 \times 15.3\%) + (5 \times 22.2\%) + (3 \times 23.6\%) = 4.53$$

Terlihat nilai perhitungan fitur dasar yang diperoleh menunjukkan perbedaan tipis antara solusi 2 dan solusi 3 dengan selisih 0.23. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan perhitungan lebih lanjut pada fitur tambahan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Berikut nilai terhadap masing masing solusi yang diajukan adalah :

$$1. (3 \times 12\%) + (5 \times 12\%) + (5 \times 20\%) + (3 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (3 \times 16\%) = 4.04$$

$$2. (3 \times 12\%) + (3 \times 12\%) + (5 \times 20\%) + (3 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (3 \times 16\%) = 3.80$$

$$3. (1 \times 12\%) + (1 \times 12\%) + (5 \times 20\%) + (5 \times 20\%) + (3 \times 20\%) + (5 \times 16\%) = 3.64$$

1.2.3.1 Analisa Usulan Solusi 1

Dari HoQ pada Gambar 1.1 didapatkan nilai untuk solusi 1: Sistem Monitoring dan Peringatan Dini Kondisi Mendengkur dan Saturasi Oksigen Berbasis Mikrokontroler dengan Menggunakan Metode *Fuzzy Logic* dengan nilai sebesar 4.30. Solusi ini berhubungan sedang dengan *computing performance* karena memerlukan performa komputasi yang tidak terlalu tinggi untuk memproses data sensor secara *real-time* untuk mendeteksi gangguan tidur tanpa penundaan. Sistem berhubungan erat dengan fitur *sensing capability* yang mana sensor harus dapat menangkap suara dan memantau saturasi oksigen. Selanjutnya usulan solusi ini berhubungan erat dengan metode komputasi yang mana menggunakan metode *Fuzzy logic* untuk menentukan suara dengkur dengan berdasarkan kelompok intensitas suara dalam decibel dan saturasi oksigen dianalisis untuk menentukan tingkat kondisi berdasarkan rentang nilai saturasi oksigen. Solusi ini berkaitan sedang dengan fitur notifikasi pengguna, di mana sistem akan memberikan notifikasi ketika kondisi *fuzzy* terpenuhi. Namun pada deteksi suara, notifikasi diberikan jika suara yang terdeteksi berada dalam rentang desibel tertentu, baik itu suara dengkur maupun suara lingkungan lainnya. Solusi ini berhubungan erat dengan portabel karena desainnya yang kecil, mudah dibawa dan dapat bekerja tanpa ketergantungan Listrik PLN.

Kemudian, terhadap fitur tambahan, solusi 1 berhubungan sedang dengan *low power* karena daya yang dibutuhkan untuk komponen seperti sensor suara dan sensor max ini tidak terlalu besar. Dalam hal *low cost*, hubungan juga erat, karena komponen yang digunakan dalam solusi ini relatif murah, seperti sensor max, dan sensor suara yang merupakan perangkat sederhana dan umum digunakan. Solusi ini harus diselesaikan dalam tenggat waktu 6 bulan sehingga diberi nilai hubungan. Sistem juga harus dilengkapi dengan software namun tidak dengan fitur unggulan pemantauan posisi tubuh sehingga hubungannya sedang. Hubungan dengan fitur mudah digunakan dinilai erat, implementasi sistem memerlukan penyesuaian dari pengguna. Terakhir, hubungan fitur kenyamanan pengguna dengan solusi ini

sedang karena sistem ini diimplementasikan dan dikenakan oleh pengguna. Sehingga didapatkan poin akumulasi hubungan solusi dengan fitur tambahan sebesar 4.04.

1.2.3.2 Analisa Usulan Solusi 2

Dari HoQ pada Gambar 1.1 didapatkan nilai untuk solusi 2: *Wearable Device* untuk Peringatan Dini Mendengkur Berbasis *Neural Network* dengan TinyML serta Peringatan Dini dan Monitoring Saturasi Oksigen Rendah untuk Mencegah Gejala *Sleep Apnea* dengan nilai sebesar 4.75. Solusi ini berhubungan sedang dengan *computing performance* karena sistem menggunakan algoritma *neural network*, yang memerlukan komputasi cukup tinggi untuk memproses data secara *real-time*, namun kapasitas memori mikrokontroler *embedded machine learning* juga terbatas dibandingkan dengan *Single Board Computer (SBC)*. Hubungan dengan fitur *sensing capability* erat, karena sensor harus mampu menangkap suara dan juga memantau saturasi oksigen. Solusi ini juga memiliki hubungan yang erat dengan metode komputasi dalam penentuan outputnya. Selain itu, solusi ini juga berhubungan erat dengan fitur notifikasi pengguna, karena sistem harus memberikan notifikasi segera ketika mendeteksi gangguan tidur seperti mendengkur atau kondisi saturasi oksigen dibawah ambang batas normal. Solusi ini berhubungan erat dengan portabel karena desainnya yang kecil, mudah dibawa dan dapat bekerja tanpa ketergantungan Listrik PLN.

Kemudian, terkait fitur tambahan, solusi ini memiliki hubungan sedang dengan *low power*, karena meskipun *neural network* membutuhkan daya komputasi yang lebih tinggi, sistem sensor dan mikrokontroler yang digunakan masih dapat dioptimalkan agar konsumsi daya tetap rendah. Hubungan dengan *low cost* dinilai sedang, Komponen sensor max umumnya cukup terjangkau, dan juga biaya mikrokontroler khusus *embedded machine learning* lebih terjangkau dibandingkan SBC. Solusi ini dinilai memiliki hubungan yang erat untuk dikerjakan dalam waktu 6 bulan. Sistem juga harus dilengkapi dengan *software* namun tidak dengan fitur unggulan pemantauan posisi tubuh sehingga hubungannya sedang, *software* nantinya berisi informasi *log* pemantauan saturasi oksigen dan kejadian mendengkur. Kemudian fitur mudah digunakan memiliki hubungan erat dengan solusi ini, pengguna tidak

memerlukan instalasi lingkungan sekitar sistem. Terakhir, fitur kenyamanan pengguna dinilai berhubungan sedang, karena solusi ini dikenakan langsung kepada pengguna dengan desain yang portabel bisa dipasang pada baju pengguna, dan lengan pengguna.

Setelah menganalisis usulan solusi 2 dengan fitur tambahan didapatkan poin akumulasi hubungan solusi dengan fitur tambahan sebesar 3.80.

1.2.3.3 Analisa Usulan Solusi 3

Dari HoQ pada gambar 1.1, solusi 3 yaitu Sistem Peringatan Dini Dengkuran dan Pemantauan Posisi Tubuh dengan *Neural Network* dan *Anomaly Detection K-Means Clustering* Berbasis *Single Board Computer*, serta Monitoring SpO2 mendapatkan nilai sebesar 4.53. Solusi ini menunjukkan hubungan erat dengan *computing performance* karena metode *neural network* dijalankan pada SBC dengan komputasi yang tinggi. Solusi ini berhubungan erat dengan *sensing capability*, karena sensor harus mampu menangkap suara dan juga memantau saturasi oksigen serta posisi tubuh. Pada metode komputasi, solusi ini dinilai memiliki hubungan erat yang mana melalui algoritma *neural network* untuk selanjutnya mengklasifikasi suara dengkuran dan posisi tubuh. Solusi ini memiliki hubungan erat dengan notifikasi pengguna, karena sistem harus memberikan peringatan kepada pengguna ketika mendeteksi gangguan pernapasan atau mendengkur. Terakhir, solusi ini berhubungan sedang dengan portabel karena desain untuk sistem pemantauan saturasi yang portable namun untuk pendeteksian suara menggunakan mikrofon yang di instalasi di atas tempat tidur pengguna mengandalkan Listrik PLN namun pengguna juga dapat opsi menggunakan *powerbank*.

Terkait fitur tambahan, solusi ini memiliki hubungan yang berlawanan dengan low power, karena SBC memerlukan daya yang cukup besar baik pada saat kondisi *idle* maupun *running*. Dalam hal *low cost*, solusi ini memiliki hubungan yang berlawanan. Harga SBC lebih mahal hal ini dikarenakan kemampuan prosesor serta kapasitas memori yang lebih besar. Solusi ini harus dapat diselesaikan dalam waktu 6 bulan sehingga berhubungan erat. Solusi ini memiliki hubungan yang erat dengan

fitur software karna diperlukan dalam *data logging* dan pada solusi 3 ini terdapat fitur unggulan yaitu pemantauan posisi tubuh. Hubungan dengan fitur mudah digunakan dinilai sedang, karena diperlukan instalasi dan pemasangan tempat peletakan mikrofon oleh pengguna. Dalam hal kenyamanan pengguna, solusi ini menunjukkan hubungan yang erat yang mana mikrofon diletakan diatas tempat tidur pengguna sehingga tidak mengganggu pengguna.

Setelah menganalisis usulan solusi 3 dengan fitur tambahan didapatkan poin akumulasi hubungan solusi dengan fitur tambahan sebesar 3.64.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan analisis menggunakan metode HoQ (*House of Quality*), didapatkan bahwa solusi 2, yaitu "*Wearable Device* untuk Peringatan Dini Mendengkur Berbasis *Neural Network* dengan TinyML serta Peringatan Dini dan Monitoring Saturasi Oksigen Rendah untuk Mencegah Gejala *Sleep Apnea*", memiliki nilai tertinggi dengan persentase dan skor terbaik sebesar 4.75. Solusi ini juga dilakukan analisa hubungannya terhadap fitur tambahan dan mendapatkan skor 3.80 juga lebih tinggi dari solusi 3 dengan selisih 0.24 poin. sehingga menjadi solusi terbaik karena memiliki keunggulan yang lebih tinggi dibandingkan solusi yang lain. Solusi ini juga memiliki hubungan erat dengan *sensing capability*, metode komputasi dan notifikasi pengguna dengan perangkat wearable dan desain yang portabel sehingga memungkinkan pemrosesan data real-time serta notifikasi langsung kepada pengguna. Memastikan respons cepat dan akurat terhadap gangguan mendengkur atau saturasi oksigen rendah.