BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hipertiroidisme merupakan salah satu gangguan endokrin yang paling umum terjadi di seluruh dunia, yang ditandai oleh produksi hormon tiroid secara berlebihan oleh kelenjar tiroid. Kelenjar tiroid adalah organ kecil berbentuk kupu-kupu yang terletak di bagian depan leher, tepat di bawah jakun (laring), dan memiliki peran vital dalam mengatur metabolisme tubuh. Hormon tiroid, terutama tiroksin (T4) dan triiodotironin (T3), memainkan peran penting dalam merangsang jaringan tubuh, menghasilkan protein, meningkatkan jumlah oksigen dalam sel, serta menjaga kestabilan fungsi berbagai sistem, seperti sistem saraf dan kardiovaskular. Ketika terjadi peningkatan kadar hormon tiroid yang tidak terkontrol, laju metabolisme tubuh meningkat secara signifikan dan dapat menyebabkan gejala klinis yang cukup mengganggu, seperti jantung berdebar, tremor, penurunan berat badan, dan gangguan tidur.

Menurut penelitian oleh (Kahaly et al., 2018), hipertiroidisme memengaruhi sekitar 1-1,5% populasi wanita dan 0,5% pria di seluruh dunia, dengan penyakit *graves* sebagai penyebab utama, terutama di wilayah dengan asupan yodium yang cukup. Prevalensi ini menunjukkan bahwa hipertiroidisme merupakan salah satu kondisi endokrin yang signifikan, dengan angka kejadian tahunan mencapai 20-30 kasus per 100.000 individu, terutama pada kelompok usia produktif antara 30 hingga 60 tahun.

Kondisi ini tidak hanya bersifat medis, tetapi juga memiliki dampak sosial dan psikologis yang luas. Selain itu, gejala klinis hipertiroidisme yaitu takikardia atau peningkatan jantung di atas normal merupakan manifestasi kardiovaskular yang paling menonjol. (Panagoulis et al., 2008) Mencatat bahwa lebih dari 90% pasien hipertiroidisme mengalami takikardia dengan denyut jantung istirahat melebihi 90 denyut jantung per menit (BPM), bahkan hingga 120 BPM pada kasus berat. Peningkatan ini terjadi akibat efek langsung T3 pada miokardium, yang meningkatkan ekspresi gen untuk kanal kalsium tipe-L dan reseptor beta-adrenergik, sehingga mempercepat kontraktilitas jantung.

Selain takikardia, tremor merupakan gejala *neuromuskular* yang sering dilaporkan pada hipertiroidisme. Tremor ini biasanya bersifat halus, berfrekuensi tinggi, terutama terdeteksi pada ekstremitas atas seperti tangan. (Schneider et al., 2023) melaporkan bahwa 76% pasien dengan *tirotoksikosis* menunjukkan tremor postural atau kinetik, yang muncul saat mempertahankan posisi tangan atau melakukan aktivitas motorik halus. Mekanisme patofisiologis tremor melibatkan hiperaktivitas sistem saraf simpatis dan peningkatan sensitivitas reseptor beta-adrenergik di otot rangka, yang dipicu oleh kelebihan hormon tiroid.

Gejala-gejala ini tidak hanya mengganggu aktivitas sehari-hari, tetapi juga meningkatkan risiko komplikasi serius jika tidak ditangani dengan baik. Misalnya, takikardia yang tidak terkontrol dapat menyebabkan gagal jantung, terutama pada pasien dengan faktor risiko seperti hipertensi atau penyakit jantung sebelumnya. Tremor yang parah juga dapat menghambat kemampuan pasien untuk melakukan tugas-tugas sederhana, seperti menulis atau memegang benda, sehingga mempengaruhi produktivitas dan kemandirian mereka. Oleh karena itu, pengelolaan gejala hipertiroidisme menjadi prioritas penting dalam praktik medis, baik untuk meningkatkan kenyamanan pasien maupun untuk mencegah konsekuensi jangka panjang.

Salah satu pendekatan farmakologis yang umum digunakan untuk mengatasi takikardia dan tremor adalah pemberian propranolol, sebuah obat dari kelas *beta-blocker non-selektif*. Propranolol bekerja dengan menghambat reseptor beta-adrenergik di jantung dan jaringan perifer, sehingga mengurangi efek stimulasi simpatis yang diperburuk oleh hormon tiroid berlebih. Menurut (Mangaku et al., 2024), propranolol efektif dalam menurunkan denyut jantung, mengurangi tremor, dan meredakan gejala lain seperti kecemasan atau palpitasi dalam waktu singkat setelah pemberian. Dosis tipikal propranolol untuk hipertiroidisme berkisar antara 10-40 mg, diberikan 3-4 kali sehari, tetapi dosis ini harus disesuaikan berdasarkan respons pasien. Tantangan utama dalam penggunaan propranolol adalah variabilitas individu; dosis yang terlalu rendah mungkin tidak cukup efektif, sementara dosis berlebihan dapat menyebabkan efek samping seperti bradikardia (denyut jantung terlalu lambat), hipotensi, atau kelelahan berat.

Alat sistem monitoring sangat dibutuhkan karena manajemen gejala hipertiroidisme khususnya takikardia dan tremor memerlukan pemantauan *real-*

time dan penyesuaian dosis propranolol yang dinamis. Fluktuasi harian gejala yang dipengaruhi aktivitas fisik, stres, atau metabolisme hormon tiroid membuat pendekatan konvensional rentan menghasilkan terapi tidak optimal. Dosis yang terlalu rendah gagal mengendalikan gejala, sementara dosis berlebihan berisiko memicu bradikardia atau hipotensi. Oleh karena itu, sistem pemantauan mandiri berbasis IoT yang terintegrasi dengan analisis cerdas menjadi solusi krusial untuk meningkatkan keselamatan dan kualitas hidup pasien.

Sistem ini secara fundamental berbeda dengan *pulse oximeter* biasa dalam tiga aspek kunci. Pertama, *pulse oximeter* konvensional hanya memantau denyut jantung dan saturasi oksigen, tetapi mengabaikan tremor sebagai parameter esensial dalam hipertiroidisme. Kedua, alat standar tidak memiliki kemampuan analisis untuk menghubungkan fluktuasi denyut jantung dan tremor guna menghasilkan rekomendasi terapi sehingga pasien dan dokter tidak mendapat panduan dosis propranolol yang personal. Ketiga, ketiadaan konektivitas IoT pada *pulse oximeter* biasa membatasi pemantauan jarak jauh dan analisis data jangka panjang, sementara sistem ini mengirimkan data *real-time* ke *cloud* untuk diakses via *dashboard web*. Dengan fitur-fitur unik ini, alat ini tidak sekadar memantau, tetapi juga menjadi pendukung keputusan terapi yang proaktif.

Perkembangan teknologi modern, khususnya *Internet of Things (IoT)* membuka peluang baru dalam pengelolaan hipertiroidisme. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data fisiologis secara *real-time* menggunakan sensor canggih, yang kemudian dapat digunakan untuk mendukung keputusan klinis. Dalam penelitian ini, dua sensor utama dimanfaatkan yaitu MAX30102 dan MPU6050. Sensor MAX30102 adalah modul optik yang mengukur denyut jantung dan saturasi oksigen melalui teknologi *fotoplethismografi (PPG)*. Cahaya inframerah dipancarkan oleh sensor ini mendeteksi perubahan volume darah di pembuluh kapiler, yang kemudian dikonversi menjadi data denyut jantung dalam satuan *beats per minute (BPM)*. (Ahmad et al., 2022), menyebutkan bahwa sensor ini memiliki akurasi hingga 89% dalam kondisi optimal, menjadikannya alat yang andal untuk pemantauan kardiovaskular.

Sementara itu, sensor MPU6050 yang terdiri dari akselerometer dan giroskop, digunakan untuk mendeteksi tremor melalui pengukuran percepatan dan rotasi. Data dari sensor ini diolah menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk

menentukan frekuensi tremor, memberikan gambaran kuantitatif tentang keparahan gejala. (Yang et al., 2021), menunjukkan bahwa sensor MPU6050 memiliki sensitivitas dalam mendeteksi gerakan, yang cocok untuk analisis tremor pada pasien hipertiroidisme. Kombinasi kedua sensor ini memungkinkan sistem untuk memantau dua parameter utama denyut jantung dan tremor secara stimulan, yang kemudian menjadi dasar untuk penyesuaian dosis propranolol.

Untuk mengintegrasikan data dari sensor dan menghasilkan rekomendasi dosis yang akurat, metode *fuzzy logic* diterapkan dalam sistem ini. *Fuzzy logic* adalah pendekatan komputasi yang mampu menangani ketidakpastian dan variabilitas data, seperti fluktuasi denyut jantung atau intensitas tremor. Menurut (Pancardo et al., 2018), *fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk mengklasifikasikan data ke dalam kategori fleksibel misalnya, “ringan”, “sedang”, atau “berat”, berdasarkan rentang nilai yang ditentukan, kemudian menghasilkan *output* berupa dosis propranolol yang sesuai. Keunggulan *fuzzy logic* dibandingkan metode tradisional, seperti algoritma berbasis ambang tetap, terletak pada kemampuannya untuk menyesuaikan keputusan dengan kondisi pasien secara dinamis.

Penerapan *fuzzy logic* dalam bidang medis telah terbukti efektif dalam berbagai studi sebelumnya. Misalnya, (Ali et al., 2024) mengembangkan sistem berbagai *fuzzy logic* untuk mendiagnosis penyakit jantung dengan akurasi 98,08%, sementara (Geman et al., 2013) mencapai akurasi 95,46% dalam diagnosis parkinson. Dalam konteks hipertiroidisme, *fuzzy logic* dapat digunakan untuk memetakan hubungan antara tingkat keparahan gejala (takikardia dan tremor) dengan dosis propranolol yang diperlukan, sehingga mengurangi risiko *overdosis* atau *underdosis*.

Sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terintegrasi yang tidak hanya memantau gejala secara *real-time*, tetapi juga menyarankan dosis propranolol yang optimal. Dengan memanfaatkan sensor MAX30102 dan MPU6050, serta metode *fuzzy logic*, sistem ini dapat mengurangi ketergantungan pada kunjungan klinis berulang dan membantu dokter dalam pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. Selain itu, sistem ini memiliki potensi untuk digunakan di daerah dengan akses terbatas ke layanan kesehatan, seperti pedesaan, atau dalam situasi darurat seperti pandemi, di mana pasien memerlukan pemantauan jarak jauh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring denyut jantung dan tremor berbasis IoT yang menggunakan sensor MAX30102 dan MPU6050, serta metode *fuzzy logic*, untuk menentukan dosis propranolol yang optimal pada penderita hipertiroidisme. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan gejala, meminimalkan risiko efek samping, dan pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup pasien melalui pendekatan yang lebih cerdas dan terpersonalisasi.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan beberapa permasalahan yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penderita hipertiroidisme mengalami gangguan denyut jantung yang tidak normal, seperti takikardia yang dapat meningkatkan risiko komplikasi kardiovaskular.
2. Peningkatan denyut jantung yang tidak terkontrol dapat menyebabkan tremor tangan, yang berdampak pada kualitas hidup penderita.
3. Belum adanya sistem monitoring berbasis IoT yang dapat memantau denyut jantung dan tremor tangan secara bersamaan untuk membantu pengaturan dosis obat propranolol.

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus pada solusi yang dapat diimplementasikan, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala kecil dengan objek pengujian yang mencakup kondisi yang dialami oleh peneliti sebagai penderita hipertiroidisme.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada pemantauan denyut jantung dan tremor tangan pada penderita hipertiroidisme.
3. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan ke mikrokontroler dan diproses menggunakan metode *Fuzzy Logic* untuk mendapatkan dosis obat propranolol yang sesuai.

4. Hasil data akan disimpan dalam database Firebase dan ditampilkan melalui *dashboard* berbasis *website* monitoring yang dapat diakses oleh pengguna.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan pembatasan masalah, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sistem monitoring berbasis IoT untuk memantau kondisi penderita hipertiroidisme melalui denyut jantung dan tremor tangan?
2. Bagaimana memanfaatkan sensor MAX30102 untuk mengukur denyut jantung dan sensor MPU6050 untuk mendeteksi tremor tangan?
3. Bagaimana menerapkan metode *Fuzzy Logic* untuk menganalisis data denyut jantung dan tremor guna membantu pengaturan dosis obat propranol?
4. Bagaimana menampilkan hasil pemantauan denyut jantung dan tremor tangan dalam *dashboard* berbasis *website* monitoring yang dapat diakses secara *real-time*?

1.5. Tujuan Penelitian

Dengan rumusan masalah tersebut maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT yang dapat memantau denyut jantung dan tremor tangan pada penderita hipertiroidisme secara *real-time*?
2. Mengimplementasikan sensor MAX30102 untuk mengukur denyut jantung dan sensor MPU6050 untuk mendeteksi tremor tangan?
3. Menerapkan metode *Fuzzy Logic* dalam mengolah data denyut jantung dan tremor tangan guna memberikan analisis yang lebih akurat.
4. Merancang *dashboard* berbasis *website* monitoring untuk menampilkan data denyut jantung dan tremor tangan yang telah diolah dalam bentuk informasi yang mudah dipahami oleh pengguna.

1.6. Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian ini, peneliti mengharapkan sesuatu yang dapat digunakan tidak hanya dari satu pihak, melainkan juga beberapa pihak terkait.

1. Bagi Penderita Hipertiroidisme
 - a. Membantu dalam pemantauan kondisi denyut jantung dan tremor tangan secara *real-time*.
 - b. Memungkinkan pengguna untuk mengontrol dosis obat propranolol berdasarkan data yang tepantau.
 - c. Mengurangi risiko komplikasi akibat denyut jantung yang tidak stabil.
2. Bagi Pengembangan Teknologi Kesehatan
 - a. Menjadi referensi dalam pengembangan sistem monitoring kesehatan berbasis *Internet of Things* (IoT).
 - b. Mendorong inovasi dalam penerapan sensor MAX30102 dan sensor MPU6050 untuk pemantauan kondisi pasien.
 - c. Menunjukkan bagaimana metode *Fuzzy Logic* dapat digunakan dalam pengolahan data medis guna menghasilkan informasi yang lebih akurat dan bermanfaat.

Intelligentia - Dignitas