

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem IoT berbasis ESP8266 untuk deteksi dini penyakit saluran kemih, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem IoT berbasis ESP8266 berhasil dirancang dan dikembangkan untuk mendeteksi parameter *urine*, meliputi pH, warna *urine*, berat jenis, dan TDS secara *real-time*. Sistem mampu mengirimkan dan menampilkan data hasil pembacaan sensor melalui koneksi internet, sehingga berfungsi sebagai sistem monitoring *urine* berbasis IoT yang terintegrasi.
2. Sistem mampu melakukan analisis awal kondisi *urine* dengan mengolah data parameter pH, warna, berat jenis, dan TDS menggunakan pendekatan perhitungan estimasi kekeruhan serta algoritma *machine learning*. Hasil pengujian menunjukkan adanya hubungan antara peningkatan nilai TDS dan estimasi kekeruhan dengan kondisi *urine* yang berpotensi mengarah pada infeksi saluran kemih (ISK). Namun, berdasarkan masukan dari pihak laboratorium, diagnosis ISK tidak dapat ditentukan hanya dari parameter fisik dan kimia sederhana, sehingga sistem ini diposisikan sebagai alat bantu skrining awal dan tidak menggantikan diagnosis dokter.
3. Hasil evaluasi kinerja menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat kesesuaian sebesar 90% dibandingkan dengan hasil pemeriksaan laboratorium pada pengujian terhadap 20 sampel *urine*, dengan rata-rata *error* pembacaan pH sebesar $\pm 0,6$ dan berat jenis sebesar $\pm 0,005$. Nilai *error* tersebut masih berada dalam batas toleransi sensor dan tidak mengganggu fungsi sistem sebagai alat bantu skrining awal.

Dari sisi pengolahan data dan *machine learning*, evaluasi model yang dilakukan menggunakan *dataset* sebanyak 301 data menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* menghasilkan akurasi sebesar 100% dengan nilai *F1-score* 1.000, sedangkan algoritma *XGBoost* menghasilkan akurasi sebesar 98,4% dengan nilai *F1-score* 0.984. Hasil ini menunjukkan bahwa data parameter *urine* yang digunakan memiliki pola yang cukup kuat untuk dibedakan oleh model *machine learning*.

Namun demikian, tingginya performa model *machine learning* perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena keterbatasan jumlah dan variasi *dataset*, serta keterbatasan parameter klinis yang digunakan. Oleh karena itu, meskipun sistem menunjukkan kinerja yang stabil dan akurat berdasarkan hasil pengujian alat dan evaluasi model, sistem ini tetap diposisikan sebagai alat bantu skrining awal dan belum dapat

menggantikan pemeriksaan laboratorium maupun diagnosis dokter. Secara keseluruhan, sistem IoT berbasis ESP8266 yang dikembangkan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai teknologi kesehatan digital berbasis *Internet of Medical Things* (IoMT) yang murah, efisien, dan mudah diakses, serta mendukung pengembangan layanan telemedicine dan deteksi dini penyakit di Indonesia.

5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dan peningkatan performa sistem, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penambahan Sensor Bakteri dan Biomarker Medis.
Diperlukan pengembangan sistem dengan sensor pendeteksi bakteri serta parameter biologis lain seperti nitrit, leukosit, protein, dan bilirubin untuk meningkatkan keakuratan dan validitas hasil deteksi terhadap kondisi medis sebenarnya.
2. Kalibrasi Sensor Secara Berkala.
Sensor pH, TDS, dan warna perlu dikalibrasi secara rutin menggunakan sampel biologis (*urine*) dengan standar laboratorium agar hasil pembacaan tetap akurat dan stabil dalam jangka panjang.
3. Penyempurnaan Algoritma Perhitungan NTU.
Diperlukan algoritma koreksi tambahan untuk meningkatkan akurasi estimasi nilai NTU, terutama pada kondisi di mana warna dan nilai TDS berada di ambang batas yang mirip.
4. Integrasi Aplikasi *Mobile* dan *Cloud* Database.
Pengembangan aplikasi berbasis Android/iOS untuk menampilkan hasil pemeriksaan, menyimpan data pasien, serta mengirim hasil ke tenaga medis akan meningkatkan fungsi sistem sebagai alat pemantau kesehatan digital.
5. Penambahan Analisis Radiologis untuk Deteksi Batu Ginjal.
Berdasarkan masukan dari pihak medis, khususnya dr. Wilia dari RS Hermina Serpong, untuk memperoleh hasil diagnosis batu ginjal yang lebih akurat, sistem sebaiknya dikembangkan dengan menambahkan analisis citra hasil rontgen (radiografi). Hal ini dikarenakan keberadaan kristal dalam *urine* belum tentu menunjukkan adanya batu ginjal, dan sebaliknya, adanya batu ginjal belum tentu selalu diikuti oleh kristal dalam *urine*. Dengan mengombinasikan hasil analisis *urine* dan citra radiologis, sistem akan mampu memberikan informasi yang lebih komprehensif dalam mendeteksi risiko pembentukan batu ginjal.
6. Penambahan Fitur Keamanan Data.
Penggunaan protokol komunikasi aman seperti HTTPS atau MQTT Secure diperlukan agar data hasil pemeriksaan tersimpan dan terkirim dengan perlindungan privasi yang memadai.

7. Uji Validasi Klinis dengan Sampel Lebih Banyak.
Pengujian lanjutan dengan jumlah sampel lebih besar dan variasi kondisi pasien diperlukan untuk menilai reliabilitas sistem secara statistik serta menyesuaikan model pembacaan dengan kondisi medis yang beragam.
8. Pengujian Lapangan di Fasilitas Medis.
Implementasi alat secara langsung di klinik atau rumah sakit dapat memberikan masukan praktis terkait efektivitas, kenyamanan, dan efisiensi penggunaan alat dalam kondisi nyata.