

BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Prancangan

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, sistem akses laboratorium dengan identifikasi detak jantung dan SpO₂ mahasiswa berbasis sensor MAX30102 berhasil direalisasikan dalam bentuk perangkat keras sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya. Hasil perancangan pada tugas akhir ini meliputi perancangan elektronik, perancangan mekanik, dan perancangan perangkat lunak.



Gambar 4.1 Hasil Perancangan Elektronik

Hasil perancangan elektronik dilakukan dengan menghubungkan ESP32, dua sensor MAX30102, LCD 20×4, buzzer, speaker, dan push button menjadi satu sistem yang terintegrasi. ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima dan mengolah data dari sensor MAX30102. Hasil pengukuran detak jantung (BPM) dan SpO₂ ditampilkan pada LCD, sedangkan buzzer dan speaker digunakan sebagai indikator status akses. Sensor MAX30102 bekerja dengan

mendeteksi perubahan aliran darah pada ujung jari untuk menghasilkan nilai BPM dan SpO₂.

4.2 Hasil Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dilakukan dengan menempatkan seluruh komponen pada sebuah box panel. Pada bagian depan box terdapat LCD 20×4, dua sensor MAX30102, push button, buzzer, dan speaker sehingga mudah digunakan oleh mahasiswa saat melakukan pengukuran. Sementara itu, ESP32 dan rangkaian catu daya ditempatkan di dalam box untuk melindungi komponen dari kerusakan. Hasil perancangan mekanik menghasilkan alat yang ringkas, mudah digunakan, dan sesuai dengan fungsi sebagai sistem identifikasi kondisi kesehatan mahasiswa sebelum memperoleh akses laboratorium.



Gambar 4.2 Hasil Perancangan Mekanik

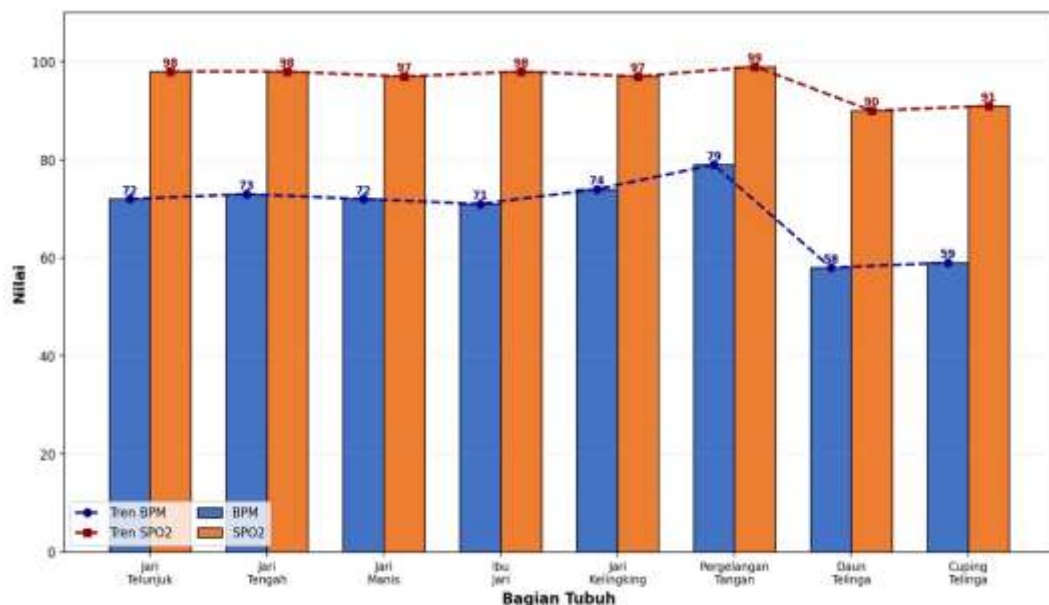
4.3 Pengujian Bagian Tubuh Manusia

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca nilai BPM (detak jantung) dan SpO2 (saturasi oksigen) pada berbagai bagian tubuh yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan sensor pada masing-masing bagian tubuh secara bergantian, kemudian nilai yang terbaca dicatat dan dievaluasi berdasarkan status pembacaannya.

Tabel 4.1 Pengujian Bagian Tubuh Manusia

No	Bagian Tubuh	BPM	SPO2	Status Pembacaan
1.	Jari Telunjuk	72	98	Sangat baik
2.	Jari Tengah	73	98	Sangat baik
3.	Jari Manis	72	97	Baik
4.	Ibu jari	71	98	Baik
5.	Jari Kelingking	74	97	Baik
6.	Pergelangan Tangan	79	99	Sangat Baik
7.	Daun Telinga	58	90	Tidak Baik
8.	Cuping Telinga	59	91	Tidak Baik

4.3.1 Grafik Pengujian Bagian Tubuh Manusia



Gambar 4.3 Grafik Bagian Tubuh Manusia

4.3.2 Analisa

Dari grafik batang menunjukkan dua parameter yaitu BPM dengan batang biru dan SpO2 dengan batang orange, sedangkan garis putus-putus biru dan merah mewakili tren nilai dari jari telunjuk hingga cuping telinga. Pada bagian jari tangan yaitu jari telunjuk, jari tengah, jari manis, ibu jari, jari kelingking, dan pergelangan tangan, nilai pembacaan sensor menunjukkan kestabilan yang tinggi. Nilai BPM yang terbaca berada pada rentang 71 bpm hingga 79 bpm, sedangkan nilai SpO2 berada pada rentang 97% hingga 99%. Rentang nilai tersebut termasuk kategori normal untuk orang dewasa saat kondisi istirahat, dimana BPM normal 60-100 bpm dan SpO2 normal 95-100%. Tren garis pada kedua parameter terlihat hampir datar dari jari telunjuk sampai pergelangan tangan, yang mengindikasikan bahwa sensor menghasilkan data yang konsisten dan reliabel pada area ini. Nilai tertinggi dicapai pada pergelangan tangan dengan pembacaan 79 bpm untuk BPM dan 99% untuk SpO2. Hal ini terjadi karena pergelangan tangan memiliki pembuluh darah arteri radial yang besar, letaknya dekat permukaan kulit, dan minim gangguan jaringan lemak sehingga penyerapan dan pemantulan cahaya inframerah oleh sensor berjalan optimal.

Sebaliknya, terjadi penurunan nilai yang drastis ketika sensor dipindahkan ke area telinga. Pada daun telinga nilai BPM turun menjadi 58 bpm dengan SpO2 90%, dan pada cuping telinga BPM 59 bpm dengan SpO2 91%. Penurunan ini terlihat jelas pada tren garis yang langsung melandai tajam ke bawah setelah titik pergelangan tangan. Nilai BPM 58-59 bpm masuk kategori bradikardia, sedangkan SpO2 90-91% sudah masuk kategori hipoksemia ringan. Padahal subjek uji sama, sehingga penurunan ini bukan disebabkan kondisi fisiologis, melainkan keterbatasan teknis sensor. Penyebab utama adalah prinsip kerja MAX30102 yang menggunakan metode fotoplethysmografi reflektansi. Jaringan pada telinga memiliki kapiler darah yang lebih tipis, aliran darah mikro, dan permukaan yang kurang rata. Selisih nilai antara titik terbaik dan terburuk cukup besar. Selisih BPM mencapai 21 bpm yaitu dari 79 bpm di pergelangan tangan ke 58 bpm di daun telinga. Selisih SpO2 mencapai 9% yaitu dari 99% ke 90%.

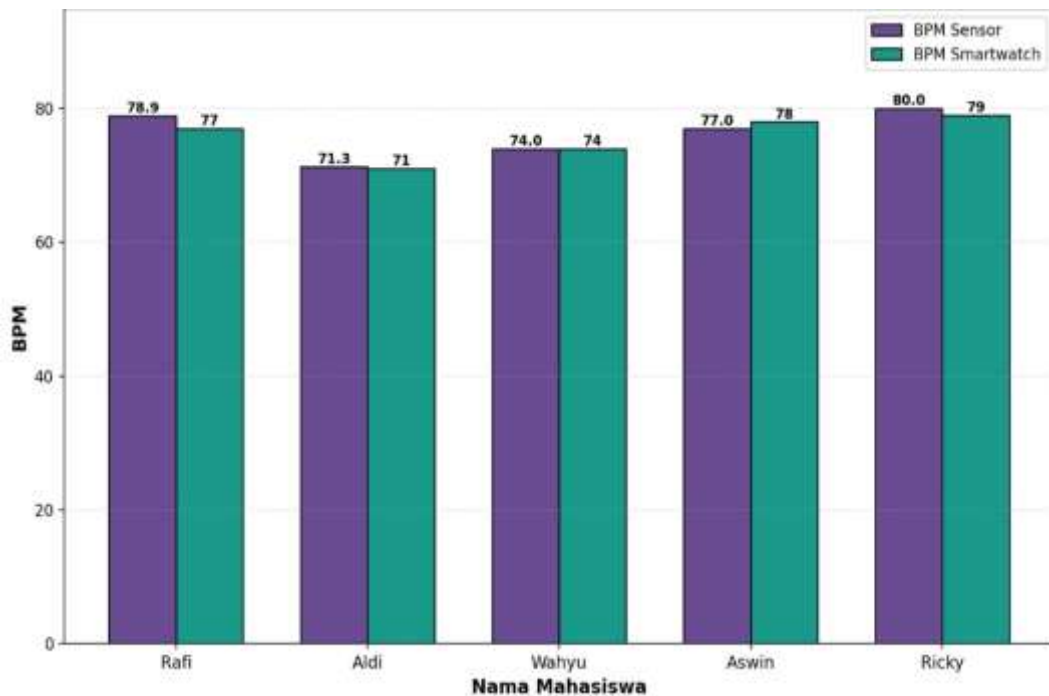
4.4 Pengujian Sensor Max30102 Pada Detak Jantung

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor MAX30102 dalam mengukur detak jantung BPM mahasiswa. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan smartwatch sebagai pembanding. Pengukuran dilakukan pada 5 mahasiswa saat kondisi istirahat, sensor ditempelkan pada jari telunjuk hingga nilai stabil, kemudian data dicatat. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Detak Jantung Mahasiswa

No	Nama Mahasiswa	BPM Sensor	BPM Smartwatch	Selisih
1.	Rafi	78.9 Bpm	77 Bpm	1,9 Bpm
2.	Aldi	71.3 Bpm	71 Bpm	0,3 Bpm
3.	Wahyu	74.0 Bpm	74 Bpm	0 Bpm
4.	Aswin	77.0 Bpm	78 Bpm	1 Bpm
5.	Ricky	80.0 Bpm	79 Bpm	1 Bpm

4.4.1 Grafik Pengujian Sensor Max30102 Pada Detak Jantung



Gambar 4.4 Grafik Pengujian Detak Jantung

4.4.2 Analisa

Berdasarkan Gambar Grafik Pengujian Sensor Detak Jantung Mahasiswa, grafik batang membandingkan pembacaan BPM sensor MAX30102 warna ungu dengan BPM smartwatch warna hijau pada 5 mahasiswa. Dari grafik terlihat tinggi batang ungu dan hijau hampir sama pada semua subjek. Nilai BPM sensor berkisar 71,3 - 80,0 bpm, sedangkan BPM smartwatch 71 - 79 bpm. Seluruh nilai berada pada rentang normal istirahat yaitu 60-100 bpm. Selisih pembacaan juga sangat kecil. Rafi selisih 1,9 bpm, Aldi 0,3 bpm, Wahyu 0 bpm, Aswin 1,0 bpm, Ricky 1,0 bpm. Rata-rata selisih hanya 0,84 bpm. Selisih di bawah 2 bpm termasuk toleransi error yang wajar untuk sensor non-medis. Bahkan pada Wahyu, pembacaan sensor dan smartwatch sama persis 74 bpm. Pola batang yang konsisten ini menunjukkan sensor MAX30102 mampu mendeteksi denyut nadi dengan stabil dan akurat. Tidak ada outlier atau pembacaan yang jauh melenceng. Artinya sensor tidak terpengaruh signifikan oleh perbedaan kondisi tiap mahasiswa. Sensor MAX30102 terbukti valid untuk mengukur detak jantung mahasiswa. Akurasinya mendekati smartwatch yang sudah umum dipakai. Karena itu sensor layak digunakan sebagai acuan sistem “Akses Diterima/Ditolak” berdasarkan parameter BPM.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap lima mahasiswa, sensor MAX30102 mampu membaca nilai detak jantung dengan hasil yang sangat mendekati alat pembanding berupa smartwatch. Nilai detak jantung yang diperoleh sensor berada pada rentang 71,3 BPM hingga 80 BPM, sedangkan hasil pengukuran menggunakan smartwatch berada pada rentang 71 BPM hingga 79 BPM. Seluruh hasil pengukuran masih berada pada rentang normal detak jantung orang dewasa dalam kondisi istirahat, yaitu antara 60 BPM sampai 100 BPM. Selisih pembacaan antara sensor MAX30102 dan smartwatch relatif kecil, yaitu berkisar antara 0 BPM hingga 1,9 BPM dengan rata-rata selisih sebesar 0,84 BPM. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang baik dan masih berada dalam batas toleransi kesalahan alat ukur non-medis. Bahkan pada salah satu responden, yaitu Wahyu, hasil pembacaan sensor dan smartwatch menunjukkan nilai yang sama yaitu 74 BPM. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu menghasilkan pembacaan yang sangat mendekati alat pembanding.

Perbedaan kecil yang masih muncul pada beberapa responden dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti posisi peletakan jari yang kurang stabil, tekanan jari terhadap sensor yang berbeda, gerakan tangan saat proses pengukuran, maupun perubahan denyut jantung yang terjadi secara alami selama proses pengambilan data. Selain itu, smartwatch dan sensor MAX30102 memiliki algoritma pengolahan sinyal yang berbeda sehingga kemungkinan terdapat sedikit perbedaan dalam proses perhitungan nilai BPM.

Hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa sensor MAX30102 mampu menghasilkan pembacaan secara real-time dengan waktu respon yang cukup cepat. Setelah jari ditempelkan pada sensor selama beberapa detik, sistem dapat menampilkan nilai detak jantung secara stabil pada LCD. Kondisi tersebut membuktikan bahwa integrasi antara sensor MAX30102 dan mikrokontroler ESP32 berjalan dengan baik sehingga proses pembacaan data dapat dilakukan secara otomatis. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor MAX30102 layak digunakan sebagai pendeteksi detak jantung pada sistem akses laboratorium. Tingkat akurasi yang tinggi serta kestabilan pembacaan menjadikan sensor ini mampu memberikan informasi yang dapat dijadikan dasar dalam menentukan apakah mahasiswa memenuhi syarat kesehatan untuk memasuki laboratorium

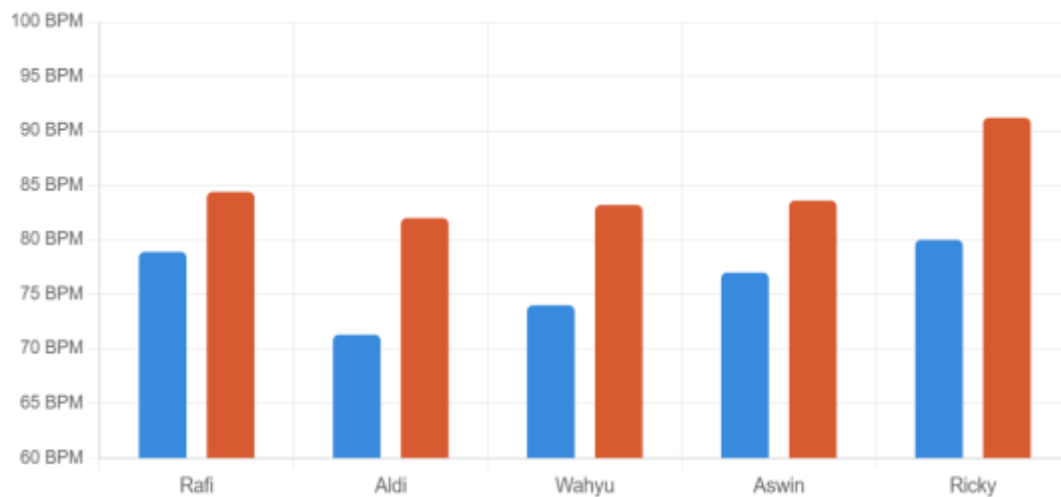
4.5 Pengujian Berdasarkan Aktivitas Mahasiswa

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon sensor MAX30102 terhadap perubahan detak jantung BPM saat kondisi istirahat dan setelah melakukan aktivitas ringan. Pengujian dilakukan pada 5 mahasiswa dengan mengukur BPM saat duduk istirahat, lalu mahasiswa diminta berjalan sebentar untuk aktivitas ringan, kemudian BPM diukur kembali. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Pengujian Berdasarkan Aktivitas Mahasiswa

No	Nama Mahasiswa	BPM Kondisi Istirahat (Duduk)	BPM Setelah Aktivitas Ringan (Jalan)	Kondisi Pembaca
1.	Rafi	78.9 Bpm	84.4 %	Berhasil/Normal
2.	Aldi	71.3 Bpm	82.0 %	Berhasil/Normal
3.	Wahyu	74.0 Bpm	83.2 %	Berhasil/Normal
4.	Aswin	77.0 Bpm	83.6 %	Berhasil/Normal
5.	Ricky	80.0 Bpm	91.2 %	Berhasil/Normal

4.5.1 Grafik Berdasarkan Aktivitas Mahasiswa



Gambar 4.5 Grafik Berdasarkan Aktivitas Mahasiswa

4.5.2 Analisa

Grafik Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan BPM 5 mahasiswa saat istirahat duduk vs setelah aktivitas ringan jalan, dimana semua batang oranye lebih tinggi dari batang biru istirahat dengan kenaikan 5-11 BPM, yaitu Rafi 79→84 BPM, Aldi 71→82 BPM, Wahyu 74→83 BPM, Aswin 77→84 BPM, dan Ricky 80→91 BPM.

Kenaikan ini sesuai fisiologi normal karena aktivitas fisik meningkatkan kebutuhan oksigen sehingga detak jantung naik, dan semua nilai BPM 71-91 BPM masih berada di rentang normal 60-100 BPM. Hal ini membuktikan sensor MAX30102 sensitif dan akurat dalam mendeteksi perubahan fisiologis real-time, sehingga layak digunakan untuk sistem monitoring kondisi mahasiswa. Berdasarkan hasil pengujian aktivitas mahasiswa, diperoleh bahwa seluruh responden mengalami peningkatan nilai detak jantung setelah melakukan aktivitas ringan berupa berjalan. Sebelum melakukan aktivitas, nilai detak jantung berada pada rentang 71,3 BPM hingga 80 BPM, sedangkan setelah melakukan aktivitas ringan meningkat menjadi 82 BPM hingga 91 BPM. Meskipun terjadi peningkatan, seluruh hasil pengukuran masih berada pada kategori normal yaitu antara 60 BPM sampai 100 BPM.

Peningkatan detak jantung tersebut merupakan respons fisiologis tubuh yang normal. Ketika seseorang melakukan aktivitas fisik, kebutuhan oksigen dan energi pada otot meningkat sehingga jantung bekerja lebih cepat untuk memompa darah ke seluruh tubuh. Akibatnya, nilai BPM yang terbaca oleh sensor juga mengalami peningkatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa sensor MAX30102 mampu mendeteksi perubahan detak jantung sesuai dengan perubahan aktivitas pengguna. Grafik hasil pengujian memperlihatkan bahwa seluruh responden mengalami pola peningkatan yang hampir sama. Hal tersebut membuktikan bahwa sensor memiliki sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan denyut nadi akibat aktivitas fisik. Tidak ditemukan penurunan nilai maupun pembacaan yang tidak sesuai dengan kondisi fisiologis responden sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja secara konsisten.

Selain itu, tidak terdapat kegagalan pembacaan selama proses pengujian berlangsung. ESP32 mampu mengolah data yang diterima dari sensor secara cepat sehingga nilai BPM dapat ditampilkan pada LCD secara real-time. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi data antara sensor MAX30102 dan ESP32 berjalan dengan baik tanpa mengalami gangguan. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini membuktikan bahwa sistem mampu melakukan monitoring detak jantung secara real-time serta mampu mendeteksi perubahan kondisi tubuh

pengguna setelah melakukan aktivitas ringan. Dengan demikian, sistem yang dirancang dapat digunakan sebagai salah satu indikator awal dalam mengevaluasi kondisi kesehatan mahasiswa sebelum memasuki laboratorium

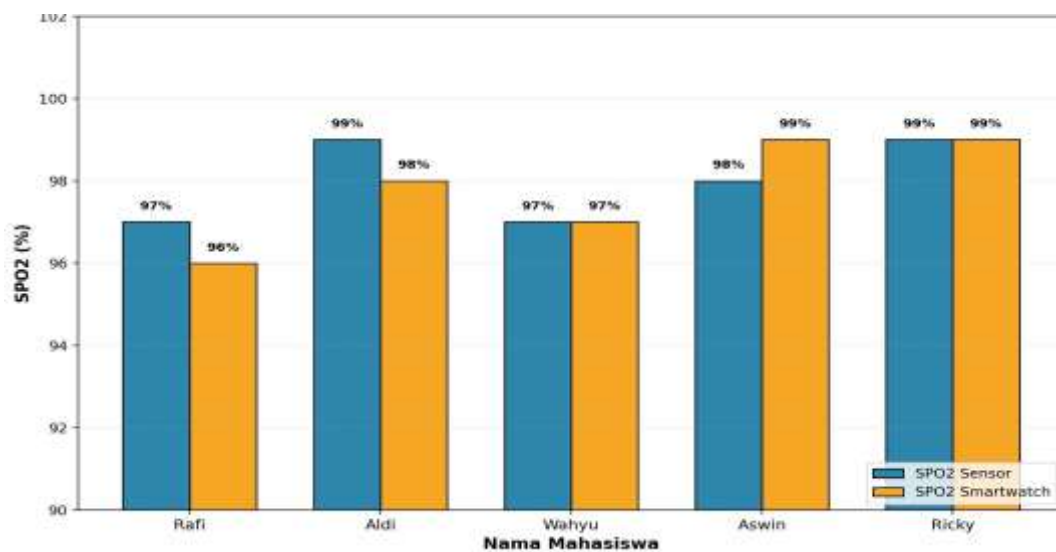
4.6 Pengujian Sensor Max30102 Pada Spo2

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui akurasi sensor MAX30102 dalam mengukur saturasi oksigen SpO2 mahasiswa. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor dengan smartwatch yang sudah umum digunakan. Pengukuran dilakukan pada 5 mahasiswa saat kondisi istirahat, sensor ditempelkan pada jari telunjuk hingga nilai stabil, kemudian data dicatat. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Pengujian Sensor Spo2 Mahasiswa

No	Nama Mahasiswa	SPO2 Sensor	SPO2 Smartwatch	Selisih
1.	Rafi	97%	96%	1%
2.	Aldi	99%	98%	1%
3.	Wahyu	97%	97%	0%
4.	Aswin	98%	99%	1%
5.	Ricky	99%	99%	0%

4.6.1 Grafik Pengujian Sensor Max30102 Pada Spo2



Gambar 4.6 Grafik Pengujian Spo2

4.6.2 Analisa

Berdasarkan Hasil Gambar 4.6 Grafik Pengujian Sensor Kadar Oksigen Dalam Darah Mahasiswa, diagram batang membandingkan pembacaan SpO₂ sensor MAX30102 warna biru dengan SpO₂ smartwatch warna orange pada 5 mahasiswa. Dari grafik terlihat tinggi batang biru dan orange hampir sama untuk semua subjek. Nilai SpO₂ sensor berada pada rentang 97% - 99%, smartwatch 96% - 99%. Semua nilai masuk kategori normal karena standar medis SpO₂ normal = 95% - 100%. Selisih pembacaan juga sangat kecil. Rafi selisih 1%, Aldi 1%, Wahyu 0%, Aswin 1%, Ricky 0%. Rata-rata selisih hanya 0,6%. Selisih di bawah 2% masih dalam batas toleransi error yang wajar untuk sensor PPG non-medis. Pada Wahyu dan Ricky, pembacaan sensor dan smartwatch sama persis, yaitu 97% dan 99%. Pola batang yang konsisten ini menunjukkan sensor MAX30102 mampu mendeteksi saturasi oksigen dengan stabil. Tidak ada data yang melenceng jauh ke bawah 95%.

Artinya sensor tidak terpengaruh signifikan oleh perbedaan kondisi tiap mahasiswa. Berdasarkan hasil pengujian kadar oksigen dalam darah (SpO₂), sensor MAX30102 menunjukkan hasil yang sangat baik apabila dibandingkan dengan smartwatch sebagai alat pembanding. Nilai SpO₂ yang diperoleh sensor berada pada rentang 97% hingga 99%, sedangkan smartwatch menunjukkan nilai antara 96% hingga 99%. Seluruh hasil pengukuran berada pada rentang normal kadar oksigen dalam darah manusia, yaitu 95% sampai 100%. Selisih pembacaan antara sensor dan smartwatch berkisar antara 0% hingga 1% dengan rata-rata selisih hanya sebesar 0,6%. Selisih tersebut sangat kecil sehingga menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur kadar oksigen dalam darah. Bahkan pada beberapa responden diperoleh hasil yang sama persis antara sensor dan smartwatch. Perbedaan kecil yang terjadi kemungkinan dipengaruhi oleh posisi jari saat pengukuran, intensitas cahaya lingkungan, suhu tubuh, serta kualitas aliran darah pada ujung jari.

Selain itu, proses filtrasi sinyal dan algoritma perhitungan pada kedua alat juga berbeda sehingga menghasilkan sedikit variasi nilai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu bekerja secara stabil tanpa mengalami fluktuasi pembacaan yang berlebihan. Nilai SpO₂ yang ditampilkan pada LCD berubah secara perlahan

hingga mencapai kondisi stabil sehingga memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi kesehatannya. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor MAX30102 mampu mengukur kadar oksigen dalam darah dengan tingkat akurasi yang baik sehingga layak digunakan sebagai bagian dari sistem akses laboratorium. Kombinasi pengukuran BPM dan SpO₂ memberikan informasi kesehatan yang lebih lengkap sehingga keputusan akses yang dihasilkan sistem menjadi lebih tepat dan dapat meningkatkan keselamatan mahasiswa sebelum melakukan kegiatan praktikum.

4.7 Pengujian LCD

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fungsi modul LCD 16x2 dalam menampilkan informasi sistem. Pengujian dilakukan dengan memberikan perintah teks dari mikrokontroler ke LCD melalui pin data D4-D7. Pengujian meliputi tampilan awal saat sistem dinyalakan, tampilan data BPM dan SpO₂ hasil pembacaan sensor, serta kondisi backlight ON/OFF. Pengamatan dilakukan secara visual untuk memastikan teks muncul jelas, tidak error, dan kontras terbaca normal. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengujian LCD

No	Kondisi sistem	Tampilan LCD	Keterangan
1.	Sistem Di nyalakan		Berhasil
2.	Sensor Membaca Detak Jantung		Berhasil

3.	Sensor Membaca Kadar Oksigen Dalam Darah		Berhasil
4.	Sistem Dimatikan		Berhasil

4.7.1 Analisa

Berdasarkan Hasil Analisa pada Tabel 4.5, LCD 20×4 dapat bekerja dengan baik dalam menampilkan informasi sesuai kondisi sistem. Saat sistem dinyalakan, LCD berhasil menampilkan tampilan awal sebagai tanda bahwa alat siap digunakan. Ketika sensor MAX30102 membaca detak jantung, LCD mampu menampilkan nilai BPM yang terukur dengan jelas. Saat sensor membaca kadar oksigen dalam darah (SpO₂), nilai SpO₂ juga dapat ditampilkan dengan baik pada LCD. Selain itu, ketika sistem dimatikan, LCD tidak menampilkan informasi sehingga menunjukkan bahwa proses pengendalian sistem berjalan normal. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa LCD berfungsi dengan baik sebagai media tampilan untuk menampilkan status sistem, nilai detak jantung (BPM), dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂) secara real-time.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, modul LCD 20×4 I2C mampu bekerja dengan baik sebagai media keluaran (output) untuk menampilkan informasi dari sistem. Selama proses pengujian, LCD berhasil menampilkan tampilan awal sistem, nilai detak jantung (BPM), kadar oksigen dalam darah (SpO₂), serta status akses laboratorium sesuai dengan data yang diproses oleh mikrokontroler ESP32. Seluruh karakter yang ditampilkan dapat terbaca dengan jelas tanpa adanya kesalahan tampilan, karakter yang hilang, maupun gangguan pada layar. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi data antara ESP32 dan LCD melalui antarmuka I2C berlangsung dengan baik dan stabil.

Pada saat sistem pertama kali dihidupkan, LCD berhasil menampilkan tampilan awal sebagai indikator bahwa seluruh rangkaian telah aktif dan siap digunakan. Setelah pengguna meletakkan jari pada sensor MAX30102, nilai BPM dan SpO₂ yang diperoleh dari sensor langsung ditampilkan pada LCD secara real-time. Proses pembaruan data berlangsung dengan cepat sehingga pengguna dapat memantau hasil pengukuran tanpa mengalami keterlambatan yang berarti. Hal ini membuktikan bahwa proses pengiriman data dari ESP32 menuju LCD berjalan secara sinkron dengan proses pembacaan sensor.

Selain menampilkan hasil pengukuran, LCD juga berfungsi sebagai media informasi status akses laboratorium. Apabila nilai detak jantung dan kadar oksigen berada pada rentang normal, LCD akan menampilkan informasi bahwa pengguna diperbolehkan memasuki laboratorium. Sebaliknya, apabila hasil pengukuran berada di luar batas normal yang telah ditentukan, LCD akan menampilkan informasi bahwa akses ditolak. Tampilan informasi tersebut membantu pengguna memahami kondisi kesehatannya sekaligus mengetahui keputusan sistem tanpa harus melihat indikator lain. Penggunaan modul LCD dengan antarmuka I2C juga memberikan keuntungan karena hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yaitu SDA dan SCL.

Dengan demikian, penggunaan pin pada mikrokontroler ESP32 menjadi lebih efisien dibandingkan LCD yang menggunakan mode paralel. Selain itu, komunikasi I2C mampu menjaga kestabilan pengiriman data sehingga tampilan pada LCD tetap berjalan dengan baik selama proses pengujian berlangsung. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa LCD 20×4 I2C telah berfungsi sesuai dengan perancangan sistem. LCD mampu menampilkan seluruh informasi yang diperlukan secara cepat, jelas, dan stabil sehingga memudahkan pengguna dalam mengetahui hasil pengukuran detak jantung, kadar oksigen dalam darah (SpO₂), serta status akses laboratorium. Oleh karena itu, LCD dapat digunakan sebagai media antarmuka yang efektif dalam mendukung kinerja keseluruhan sistem akses laboratorium berbasis sensor MAX30102.

4.8 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja alat secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan mengukur detak jantung BPM dan SpO2 pada 5 responden menggunakan sensor MAX30102. Pengamatan dilakukan pada pembacaan sensor, tampilan LCD, bunyi buzzer, dan notifikasi speaker. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.6 Sistem Keseluruhan

No	Nama	Sensor Detak Jantung	Sensor Spo2	LCD	Buzzer	Speaker
1.	Rafi	78.9 Bpm	97%	Aktif	Berbunyi	Aktif
2.	Aldy	71.3 Bpm	99%	Aktif	Berbunyi	Aktif
3.	Wahyu	74.0 Bpm	97%	Aktif	Berbunyi	Aktif
4.	Aswin	77.0 Bpm	98%	Aktif	Berbunyi	Aktif
5.	Ricky	80.0 Bpm	99%	Aktif	Berbunyi	Aktif

4.8.1 Analisa

Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa seluruh komponen sistem berfungsi dengan baik. Sensor MAX30102 berhasil membaca detak jantung BPM dan SpO2 pada 5 responden. Nilai BPM yang diperoleh berada pada rentang 71.3 – 80.0 Bpm dan nilai SpO2 berada pada rentang 97% – 99%, sehingga masih dalam batas normal. Keluaran LCD, buzzer, dan speaker DFPlayer Mini juga aktif pada setiap pengujian. Hal ini menunjukkan sistem dapat menampilkan data dan memberikan notifikasi sesuai rancangan. Namun nilai BPM tiap responden berbeda, hal ini sesuai kekurangan 4.8.3 karena detak jantung berubah setiap menit sehingga data diambil per menit untuk mendapatkan rata-rata yang lebih stabil.

Berdasarkan hasil pengujian sistem secara keseluruhan, seluruh komponen yang digunakan pada sistem akses laboratorium berbasis sensor MAX30102 dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen, mulai dari sensor MAX30102, mikrokontroler ESP32, LCD 20×4 I2C, buzzer, DFPlayer

Mini, dan speaker, mampu berkomunikasi dan menjalankan fungsinya secara bersamaan tanpa mengalami gangguan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan seluruh proses mulai dari pembacaan data kesehatan pengguna hingga memberikan keputusan akses secara otomatis.

Pada saat sistem diaktifkan, ESP32 berhasil melakukan proses inisialisasi terhadap seluruh perangkat yang terhubung. Setelah pengguna meletakkan jari pada sensor MAX30102, sensor membaca nilai detak jantung (BPM) dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂) secara real-time. Data hasil pembacaan kemudian dikirim ke ESP32 untuk diproses berdasarkan parameter yang telah diprogram. Proses pengolahan data berlangsung dengan cepat sehingga hasil pengukuran dapat langsung ditampilkan pada LCD tanpa jeda yang berarti. Apabila hasil pembacaan menunjukkan nilai detak jantung berada pada rentang 60–100 BPM dan nilai SpO₂ berada pada rentang 95–100%, maka sistem akan memberikan status bahwa pengguna memenuhi syarat untuk memasuki laboratorium.

Informasi tersebut ditampilkan pada LCD dan diperkuat dengan notifikasi suara melalui DFPlayer Mini dan speaker sehingga pengguna dapat mengetahui hasil pemeriksaan dengan mudah. Sebaliknya, apabila salah satu parameter berada di luar batas normal, sistem secara otomatis menampilkan informasi bahwa akses ditolak dan buzzer akan aktif sebagai tanda peringatan. Mekanisme ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengambil keputusan secara otomatis sesuai dengan kondisi kesehatan pengguna. Selama proses pengujian tidak ditemukan kegagalan komunikasi antarperangkat maupun kesalahan dalam proses pengambilan keputusan. Sensor MAX30102 mampu mengirimkan data dengan baik kepada ESP32, kemudian ESP32 memproses data tersebut dan mengendalikan seluruh perangkat keluaran sesuai dengan logika program yang telah dibuat. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak pada sistem telah berjalan dengan baik serta mampu bekerja secara stabil dalam kondisi pengujian.

Meskipun demikian, terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi kinerja sistem, seperti posisi jari yang kurang tepat pada sensor, pergerakan tangan saat proses pengukuran, serta intensitas cahaya dari lingkungan sekitar. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan proses pembacaan sensor menjadi lebih lama atau menghasilkan nilai yang kurang stabil. Oleh karena itu, pengguna disarankan meletakkan jari pada sensor dengan posisi yang benar dan tetap diam selama beberapa detik agar hasil pengukuran lebih akurat. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa sistem akses laboratorium berbasis sensor MAX30102 telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu melakukan identifikasi detak jantung dan kadar oksigen dalam darah secara otomatis, menampilkan hasil pengukuran secara real-time, memberikan notifikasi melalui LCD, buzzer, dan speaker, serta menentukan keputusan akses laboratorium berdasarkan kondisi kesehatan pengguna. Dengan demikian, sistem yang dirancang layak digunakan sebagai sistem pendukung kontrol akses laboratorium yang sederhana, efektif, dan mampu membantu meningkatkan keselamatan mahasiswa sebelum melaksanakan kegiatan praktikum.

4.9 Kelebihan dan Kekurangan Alat Yang Di Rancang

4.9.1 Kelebihan Alat Yang di Rancang

A. Lebih Spesifik untuk Akses Laboratorium

Alat yang dirancang pada penelitian ini secara khusus digunakan di Laboratorium Teknik Elektro untuk memenuhi kebutuhan pengawasan kesehatan mahasiswa sebelum masuk ke area praktikum. Sistem ini memungkinkan proses skrining Detak Jantung dan spo2 dilakukan secara otomatis dengan akses masuk ke laboratorium.

B. Parameter kesehatan lebih lengkap

Menggabungkan pengukuran denyut jantung, spo2 dan suhu tubuh pada mahasiswa, sehingga menghasilkan informasi kesehatan yang lebih lengkap.

C. Notifikasi Lebih Informatif

Hasil pengukuran tidak hanya ditampilkan pada LCD tetapi juga disampaikan melalui speaker menggunakan DFPlayer Mini. Dengan demikian pengguna dapat langsung mengetahui status detak jantung dan spo2 tanpa harus melihat layar LCD secara terus-menerus.

4.9.2 Kekurangan Alat Yang di Rancang

A. Belum Mendukung monitoring IoT

Alat yang saya rancang belum memiliki kemampuan mengirim data ke web server atau cloud secara real-time. Akibatnya data detak jantung dan spo2 tidak dapat dipantau dari jarak jauh maupun direkap secara otomatis.

B. Belum memiliki penyimpanan riwayat data

Alat yang saya rancang hanya menampilkan hasil pengukuran saat itu juga tanpa menyimpan data ke database. Hal ini menyebabkan riwayat detak jantung dan spo2 mahasiswa tidak dapat dilacak kembali apabila diperlukan untuk evaluasi kesehatan.

C. Akurasi Bpm Masih Dipengaruhi Denyut Jantung

Alat yang saya rancang masih memiliki kekurangan pada kalibrasi sensor detak jantung MAX30102. Proses kalibrasi BPM sulit dilakukan karena nilai rata-rata detak jantung berbeda setiap menit. Akibatnya data sensor hanya dapat diambil per menit dan masih terdapat selisih hasil pengukuran dengan alat pembanding.

4.9.3 Analisa

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan seluruh pengujian yang telah dilakukan, sistem akses laboratorium dengan identifikasi detak jantung dan kadar oksigen dalam darah (SpO₂) berbasis sensor MAX30102 telah mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Seluruh komponen yang digunakan, yaitu sensor MAX30102, mikrokontroler ESP32, LCD 20×4 I2C, DFPlayer Mini, speaker, dan buzzer, dapat terintegrasi dengan baik sehingga sistem mampu melakukan proses pembacaan data kesehatan, pengolahan data, serta memberikan keputusan akses secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MAX30102 memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengukur detak jantung dan SpO₂ dengan

selisih pembacaan yang relatif kecil dibandingkan alat pembanding, sehingga dapat digunakan sebagai sistem pendukung untuk melakukan pemeriksaan kesehatan sederhana sebelum mahasiswa memasuki laboratorium.

Selain memiliki keunggulan dalam hal kemampuan membaca data secara real-time dan memberikan informasi melalui tampilan LCD maupun notifikasi suara, sistem ini juga memiliki bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan, serta menggunakan komponen yang relatif mudah diperoleh dengan biaya yang cukup ekonomis. Hal tersebut menjadikan alat yang dirancang berpotensi untuk diterapkan sebagai sistem pendukung kontrol akses laboratorium yang mampu meningkatkan keamanan dan kesadaran terhadap kondisi kesehatan pengguna sebelum melaksanakan kegiatan praktikum.

Meskipun demikian, sistem yang dirancang masih memiliki beberapa keterbatasan. Sensor MAX30102 sangat dipengaruhi oleh posisi jari pengguna, pergerakan tangan saat proses pengukuran, serta kondisi pencahayaan di sekitar sensor. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan hasil pembacaan menjadi kurang stabil apabila proses pengukuran tidak dilakukan dengan benar. Selain itu, sistem hanya menggunakan parameter detak jantung (BPM) dan kadar oksigen dalam darah (SpO_2) sebagai dasar penentuan akses sehingga belum dapat menggambarkan kondisi kesehatan pengguna secara menyeluruh. Sistem juga masih bekerja secara standalone, sehingga hasil pengukuran hanya ditampilkan pada LCD dan belum disimpan ke dalam media penyimpanan atau basis data untuk keperluan dokumentasi maupun evaluasi.

Secara keseluruhan, berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa sistem akses laboratorium berbasis sensor MAX30102 telah berhasil menjalankan fungsi utamanya dengan baik, yaitu melakukan identifikasi detak jantung dan kadar oksigen dalam darah secara otomatis sebagai dasar pemberian akses masuk laboratorium. Meskipun masih terdapat beberapa keterbatasan, sistem ini memiliki kinerja yang cukup baik dan dapat dijadikan sebagai dasar untuk pengembangan lebih lanjut agar memiliki tingkat akurasi, keandalan, dan fungsionalitas yang lebih tinggi pada penelitian berikutnya