

BAB II DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Sebagai acuan penelitian, penulis mengadaptasi dari beberapa jurnal terpercaya yang berkaitan dengan deteksi kadar gula darah dalam tubuh yang dilakukan menggunakan metode *non-invasive*. Pada tahun 2020, Haryono Suyono dan Hambali melakukan penelitian yang berjudul **“Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik *Non-Invasive* Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno”**. Pada penelitian ini, peneliti membuat rancangan alat untuk mengukur kadar gula darah dalam tubuh menggunakan metode *non-invasif*. Mikrokontroler yang digunakan yaitu arduino uno serta menggunakan sensor *infrared* dan *photodiode* untuk pembacannya. Untuk menyinari objek (jari) yang dianalisis menggunakan *infrared* sebagai pemancar cahaya. Pada alat yang telah dirancang, pengukuran dilakukan dengan cara *non-invasif* menggunakan fenomena optik. Proses pengukuran ini melibatkan penyerapan cahaya pada dua panjang gelombang, yaitu kisaran 750-2500 nm dan *infrared* dengan panjang gelombang kisaran 750-10000 nm. Dalam penelitian ini, rancangan alat pengukuran kadar gula darah dalam tubuh secara *non-invasif* dirancang dengan merancang beberapa komponen perangkat keras, antara lain *power supply*, sensor *infrared*, *photodiode*, *pushbutton*, dan layar LCD. Alat ini bekerja dengan mendeteksi daya yang diterima oleh fotodiode yang dihasilkan oleh sensor inframerah. Data yang diperoleh kemudian diolah oleh mikrokontroler. Hasil *output* dari pengukuran sensor kemudian ditampilkan pada layar LCD untuk dibaca.[5].

Penelitian dilakukan oleh Susi Nurindah dan Abdul Halim Daulay dengan judul **“Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah *Non-Invasive* Berbasis Arduino Nano”** pada tahun 2023. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan sebuah *gadget* untuk mendeteksi kadar gula darah tubuh menggunakan arduino nano tanpa menghambat fotodiode dengan menggunakan ruas teratas jari telunjuk tangan sebagai sampel uji. Peneliti menggunakan arduino nano karena komponen yang terdapat pada mikrokontroler tersebut lebih simpel dan harganya relatif

murah dibandingkan dengan mikrokontroler yang lain. Peneliti memilih menggunakan sensor fotodiode sebab sensor tersebut mempunyai kepekaan terhadap cahaya yang bisa mengalirkan arus dengan karakteristik fungsi linier. Hasil dari penelitian ini bekerja sangat baik dengan akurasi sekitar 99,67%. Tingkat akurasi pengukuran dioptimalkan dengan penggunaan komponen ADS1115 ADC. Saran dari peneliti pada penelitian kali ini yaitu agar mengganti sumber tegangan *power supply* dengan baterai. Selain itu, peneliti menyarankan untuk mengganti metode selain *infrared* agar mendapatkan hasil *error* yang lebih kecil[6].

Pada penelitian berikutnya, penulis mengadaptasi dari segi perancangan alat *prototype* dari jurnal yang dibuat oleh Tria Nurmar'atin, Heni Sumarti dan Ayu Wulandari tahun 2022 yang berjudul **“Validasi Alat Ukur Kadar Gula Darah Secara *Non-Invasive* Menggunakan Sensor Tcrt5000 Untuk Mengurangi Limbah Medis”** Dalam penelitian ini, peneliti mengembangkan sistem deteksi kadar gula darah secara non-invasif dengan memanfaatkan sinar Near Infrared (NIR) menggunakan sensor TCRT5000. Sensor TCRT5000 yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi rata-rata sebesar 94,9%, yang menandakan bahwa sensor ini memiliki tingkat akurasi yang memadai dalam mengukur kadar gula darah. Penelitian ini difokuskan pada cara kerja penerapan serapan Near Infrared (NIR) dari sensor TCRT5000 yang terdiri dari *photodiode* dan *infrared*, dengan tujuan untuk menghasilkan inovasi yang lebih terjangkau dalam bidang medis. Dalam pengujian alat, peneliti menggunakan 15 sampel dari individu yang menderita diabetes mellitus dan 15 sampel dari individu dengan kadar gula darah dalam rentang normal. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan tingkat akurasi pada penderita diabetes mellitus sebesar 98,26% dan tingkat akurasi pada gula darah normal sebesar 97,16%[2].

Penelitian selanjutnya yang digunakan sebagai acuan penelitian yaitu dilakukan oleh Dede Sutarya pada tahun 2021 berjudul **“Sistem Monitoring Kadar Gula Darah, Kolesterol dan Asam Urat secara *Non-Invasive* menggunakan Sensor GY-MAX 30100”** Dalam penelitian ini, peneliti mengembangkan suatu sistem yang mampu mengukur kadar gula darah,

kolesterol, dan asam urat menggunakan satu sensor dengan metode *non-invasif*. Selain itu, peneliti juga membuat *web server* sebagai rekam medis pasien, hal itu memudahkan dalam pencarian data pasien sehingga lebih efisien. Sensor yang digunakan dalam penelitian yang dilakukan adalah sensor GY-MAX 30100 yang melibatkan *photodiode* yang berfungsi mendeteksi cahaya dari LED *infrared*. Hasil pengukuran akan ditampilkan di LCD kemudian data dari hasil pengukuran akan dikirim ke *web server*[7].

Selanjutnya adalah penelitian dengan berjudul “**Analisis Pengukuran Kadar Gula Dalam Darah Secara *Non-invasive***” oleh Yesi Deviana, Kamarudin dan Heru Wijanarko tahun 2020. Dalam penelitian ini, peneliti menciptakan alat ukur kadar gula darah dengan teknik *non-invasif* yang tidak memerlukan tusukan jarum pada jari tangan atau menyebabkan luka pada anggota tubuh lainnya, sehingga sterilisasi tidak diperlukan. Peneliti membuat rancangan alat untuk mendeteksi kadar gula darah menggunakan teknik pemasangan sensor secara transmisi, dimana LED ditempatkan pada satu sisi. Pemilihan metode *non-invasif* dipilih karena dianggap lebih efektif dalam mengukur jumlah glikemik darah dalam tubuh. Hasil dari alat yang dirancang oleh peneliti dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kadar gula darah yang sebenarnya, meskipun dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 8,4% karena alat masih sensitif terhadap perubahan posisi jari yang diukur.[8]

Pada tahun 2022, Suci Yulia Putri dan Nini Firmawati melakukan penelitian dengan judul “**Rancang Bangun Pengukur Kadar Gula Darah Non-Invasive Berbasis NodeMCU ESP8266**”. Pada penelitian yang dilakukan membuat alat yang bisa mendeteksi kadar gula darah seseorang dengan teknik *non-invasif* bagi penderita yang mempunyai ketakutan terhadap benda tajam. Untuk itu, penelitian ini menggunakan sensor fotodioda dan NodeMCU ESP8266. Hasil dari rancangan alat yang dibuat akan muncul pada layar LCD OLED, yang akan menunjukkan nilai kadar gula darah seseorang dan keterangan mengenai kondisi kadar gula darah tersebut. Selain itu, hasil pengukuran alat ini juga akan terhubung ke platform Telegram. Peneliti menyatakan bahwa alat ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan *skrining* atau pemeriksaan awal terhadap pasien diabetes. Namun, perlu dicatat bahwa alat pengukuran kadar gula darah ini belum

memiliki tingkat akurasi yang memadai untuk dijadikan sebagai alat ukur resmi di rumah sakit maupun klinik kesehatan [9].

Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Betty Elisabeth Manurung, Hugi Reyhandani Munggaran, Galih Fajar Ramadhan, dan Allya Paramita Koesoema pada tahun 2019 dengan judul "***Non-Invasive Blood Glucose Monitoring using Near-Infrared Spectroscopy Based on Internet of Things using Machine Learning***", membahas tentang pengembangan monitor glukosa darah secara *non-invasif* berbasis *Near-Infrared Spectroscopy* (NIR). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan sensor yang terdiri atas sepasang LED dan fotodioda yang mentransmisikan dan menerima cahaya dengan panjang gelombang 940 nm. Hasil pembacaan kadar gula darah akan dikonversi menggunakan model *machine learning* dan hasilnya akan tersimpan di dalam *database online* menggunakan *Cloud Firestore*. Penelitian ini memperoleh rata-rata nilai absolut *error* sebesar 5,855 mg/dl[1].

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Febrisia Lidia, Sabar Setiawidayat, dan Dedi Usman Effendy tahun 2018 dengan judul "**Rancang Bangun Sistem Pendeteksi dan Pemantauan Rekam Medis Penyakit Diabetes Secara *Non-Invasive* Berbasis Komputer**". Pada penelitian ini akan merancang sebuah alat pengukuran gula darah dalam tubuh manusia menggunakan urin sebagai media ujinya dengan menggunakan sensor TCS3200 yang bisa mendeteksi perubahan warna RGB dan menggunakan mikrokontroler Atmega8 sebagai pusat kendalinya. Berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang mengukur kadar gula darah menggunakan urin dan hanya menampilkan hasil pada layar LCD tanpa menyimpan data, pada penelitian yang dilakukan merancang alat yang bisa menampilkan *output* hasil pengukuran dan secara simultan menyimpan *database* rekam medis pasien. Dengan adanya fitur penyimpanan data ini, alat akan memungkinkan untuk melakukan *monitoring* secara berkelanjutan terhadap pasien.[10].

Penelitian yang dilakukan oleh Gatot Santoso, Subandi, Slamet Hani, dan Agung Junian Wicaksono pada tahun 2018 dengan judul "**Rancang Bangun Prototipe Detektor Glukosa Darah Secara *Non-Invasive* Menggunakan *Near Infrared***" berfokus pada pengukuran kadar gula darah dengan cara *non-invasive*

memakai cahaya *infrared* sebagai *transmitter* dan *photodiode* sebagai *receiver*. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Nano. Dalam perancangan pengukuran glukosa darah, program terbagi menjadi dua bagian, yaitu pembacaan pada sensor berdasarkan sinyal analog dan pembacaan pada data digital dari sensor yang akan muncul pada LCD berukuran 16x2. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa pendeteksi jumlah kadar gula dalam tubuh dilakukan dengan skala tegangan 0,43 volt-0,45 volt [11].

Penelitian berikutnya oleh Antonio Alarcón-Paredes, Victor Francisco-García, Iris P. Guzmán-Guzmán, Jessica Cantillo-Negrete, René E. Cuevas-Valencia dan Gustavo A. Alonso-Silverio tahun 2019 dengan judul ***“An IoT-Based Non-Invasive Glucose Level Monitoring System Using Raspberry Pi”***. Pada penelitian ini peneliti membahas tentang pasien diabetes melitus yang harus memeriksa kadar glukosa darah secara rutin dimana pasien harus melakukan tes kapiler setidaknya tiga kali sehari. Selain itu, juga melakukan tes laboratorium sekali atau dua kali perbulan. Hal itu akan menyulitkan bagi penderita diabetes. Oleh karena itu, peneliti membuat perancangan glukosa secara *non-invasive* berbasis *Internet Of Things* dengan menggunakan *Raspberry Pi Zero*. Selain itu menggunakan sinar laser dan kamera *Raspberry Pi* yang akan diimplementasikan dalam sarung tangan. Data pengukuran glukosa secara *non-invasive* akan diproses menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Pada penelitian ini mendapatkan kesalahan absolut rata-rata sebesar 10,37%[12].

Penelitian berikutnya oleh Eko Agus Suprayitno, Akhmad Setiawan, dan Rohman Dijaya dengan judul ***“Design of Instrumentation in Detecting Blood Sugar Levels with Non-Invasive Technique Base on IoT (Internet of Things)”*** tahun 2018. Dalam penelitian ini, peneliti merancang sistem deteksi kadar gula darah dengan sensor MAX30100 sebagai pusat kendali menggunakan metode *non-invasif* berbasis *Internet of Things* (IoT). Hasil dari pengukuran akan ditampilkan di layar LCD dan juga akan dikirimkan ke *smartphone*. Cara kerja alat ini yaitu dengan menempelkan jari telunjuk ke sensor sehingga tidak melukai jari. Hasil dari alat yang sudah dirancang memperoleh akurasi sebesar 90.3% dengan deviasi 1.2-39.6 mg/dl[13].

Pada tahun 2021, Apridho, Rika Favoria Gusa, dan Fardhan Arkan melakukan penelitian dengan judul "**Alat Ukur Kadar Glukosa Darah *Non-Invasive* Terhubung Aplikasi Android**". Penelitian ini mengeksplorasi pengukuran kadar gula darah dengan metode *invasif* dan *non-invasif*. Pada penelitian ini, para peneliti menggunakan teknik pengukuran *non-invasif* dengan menempatkan ujung jari untuk mendeteksi molekul glukosa darah dalam tubuh dengan memanfaatkan nilai rasio dari dua panjang gelombang cahaya yang berbeda pada sensor. Dalam penelitian ini, mikrokontroler MAX30100 digunakan sebagai bagian dari alat pengukuran. Hasil dari pengukuran kadar gula darah akan dihubungkan ke aplikasi Android, sehingga rekam medis pasien dapat disimpan dan hasil pengukuran akan dikirimkan ke SMS nomor telepon dari pasien. Alat yang telah dirancang dalam penelitian ini menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 91,91%.[33]

Pada tahun 2019, Usman Umar dan Imran Amin melakukan penelitian dengan judul "**Monitoring Kadar Glukosa Darah *Non-Invasif* Menggunakan Sensor *Photoacoustic***". Penelitian ini diinspirasi oleh kenyataan bahwa pengukuran kadar gula darah pada penderita diabetes biasanya dilakukan secara *invasif* dengan cara mengambil sampel darah di ujung jari, yang dilakukan di klinik atau pusat kesehatan dengan biaya yang tinggi. Hal ini menyebabkan orang-orang miskin sulit untuk melakukan pemeriksaan kadar gula darah secara rutin. Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengembangkan alat yang bisa mengukur kadar glukosa darah secara *non-invasif*. Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan sensor *Spektroskopi Photoacoustic* yang berfungsi untuk mendeteksi sinyal glukosa dalam darah dalam kisaran nilai dari sumber denyut laser ($\lambda = 650 \text{ nm}$). Alat ini juga memanfaatkan komponen lain yaitu Photodiode dan LED IR, Rangkaian ADC, Arduino Uno, dan LCD 16x2. Hasil pengukuran kadar gula darah akan terlihat pada layar LCD 16x2. [34]

Penelitian berikutnya dilakukan pada tahun 2019 oleh Syifa Maulana Akbar dengan judul "**Glucosameter *Non-Invasive* Berbasis Atmega 8535**". penelitian ini dilakukan menggunakan teknik *non-invasif* yang diperkenalkan untuk mengembangkan metode pengukuran bebas rasa sakit. Penelitian ini menggunakan sensor *infrared* untuk membaca kadar gula darah pada penderita

diabetes. Metode yang digunakan adalah dengan membaca absorbansi dari inframerah terhadap darah yang diterima oleh photodiode. Alat yang dipakai pada penelitian yang dilakukan yaitu baterai, *pushbutton*, Atmega 8535, dan LCD sebagai *output* untuk melihat hasil pengukuran kadar gula darah. Hasil dari pengukuran alat ini mendapatkan presentase kesalahan sebesar 0,97%[35].

Penelitian yang dilakukan oleh Putu Ngurah Arya di Putra, I Made Agus Mahahrdiananta, dan Ni Putu Rahayu Artini tahun 2022 dengan judul “**Rancang Bangun Alat *Point Of Care Of Testing (Poct) Non-Invasive* Berbasis Arduino Nano**”. Pada penelitian ini, metode *non-invasif* digunakan untuk mengukur kadar gula darah dan kolesterol darah seseorang tanpa perlu melukai bagian tubuh tertentu. Sensor yang dipakai dalam penelitian ini adalah cahaya LED dan photodiode. Untuk mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Nano dan untuk hasil pengukuran kadar gula darah serta kolesterol akan tampil di LCD. Hasil penelitian alat POCT memperoleh presentase *error* sebesar 0,86% untuk kadar gula darah dan sebesar 0,61% untuk kolesterol.[36]

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
1.	Perancangan Alat Pengukur Kadar Gula dalam Darah Menggunakan Teknik <i>Non-Invasive</i> Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno	Haryono Suyono dan Hambali, tahun 2020	Arduino Uno, Sensor <i>Infrared</i> dan <i>photodiode</i> , <i>Power Supply</i> , <i>Pushbotton</i> , LCD	Cara kerja alat ukur kadar gula darah pada penelitian ini yaitu dengan cara membaca daya yang diterima oleh <i>photodiode</i> yang dipancarkan oleh sensor <i>infrared</i> , setelah itu data diolah di mikrokontroler yang digunakan. Hasil dari pengukuran sensor kemudian akan terbaca di LCD

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
2.	Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Gula Darah Non-Invasive Berbasis Arduino Nano	Susi Nurindah dan Abdul Halim Daulay, tahun 2023	Arduino Nano, Sensor Fotodioda, <i>Pushbotton</i> , PCB, Box X4, LED, LCD, ADS1115 ADC	Peneliti membuat gadget untuk mengukur kadar gula darah menggunakan arduino nano dan sensor fotodioda. Tingkat akurasi pada penelitian ini yaitu 99,6%.
3.	Validasi Alat Ukur Kadar Gula Darah Secara Non-Invasive Menggunakan Sensor TCRT5000 Untuk Mengurangi Limbah Medis	Tria Nurmar'ati n, Heni Sumarti dan Ayu Wulandari, tahun 2022	Sensor TCRT5000	Penelitian ini membuat sistem kadar gula darah non-invasive menggunakan sinar <i>Near Infrared</i> (NIR). Peneliti menguji alat pada 15 orang yang memiliki diabetes mellitus dengan akurasi 98,26% dan 15 sampel pada gula darah normal dengan tingkat akurasi 97,16%.
4.	Sistem Monitoring Kadar Gula Darah, Kolestrol dan Asam Urat secara Non-Invasive menggunakan Sensor GY-	Dede Sutarya, tahun 2021	Sensor GY-MAX 30100, LCD	Peneliti membuat sistem pengukur kadar gula darah, kolestrol dan asam urat secara <i>non-invasive</i> . Hasil pengukuran akan tampil di LCD dan dikirim ke <i>web server</i> .

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
	MAX 30100			
5.	Analisis Pengukur Kadar Gula Dalam Darah Secara Non-invasive	Yesi Deviana, Kamarudin dan Heru Wijanarko, tahun 2020	Arduino Uno, IC OPT 101	Penelitian ini membuat pengukuran kadar gula darah <i>non-invasive</i> dengan menggunakan teknik pemasangan sensor secara transmisi yaitu dengan penempatan LED pada satu sisi. kesalahan rata-rata yang dihasilkan sebesar 8,4% dikarenakan masih rentan terhadap perubahan posisi jari yang diukur.
6.	Rancang Bangun Pengukur Kadar Gula Darah Non-Invasive Berbasis NodeMCU ESP8266	Nini Firmawati, tahun 2022	NodeMCU ESP8266, LCD OLED, Sensor Fotodioda	Prinsip kerja rancangan diawali dari sumber cahaya yang dihasilkan oleh dioda laser dipancarkan menembus jari dan diterima oleh sensor fotodioda. Dari sensor fotodioda didapatkan nilai intensitas cahaya dan nilai tegangan yang berkisar 0-5 volt. Tegangan

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
				yang masih berupa sinyal analog diubah ke dalam bentuk sinyal digital dan selanjutnya diproses oleh modul NodeMCU ESP8266. Output dari alat ini akan tampil pada layar LCD OLED dan terkirim ke telegram. Hasil perhitungan persentase error pada pengukuran kadar gula darah adalah sebesar 5,06% dengan pengujian 6 sampel dimana setiap sampel diuji sebanyak 2 kali.
7.	<i>Non-Invasive Blood Glucose Monitoring using Near-Infrared Spectroscopy Based on Internet of Things using Machine Learning</i>	Elisabeth Manurung, Hugi Reyhandani Munggaran, Galih Fajar Ramadhan, dan Allya Paramita	LED, Fotodioda,	Peneliti membuat pengembangan monitor glukosa darah secara <i>non-invasive</i> dengan menggunakan metode <i>Near Infrared Spectroscopy</i> (NIR). Hasil pembacaan kadar gula darah akan dikonversi dengan <i>machine learning</i> dan

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
		Koesoema tahun 2019		hasilnya akan tersimpan di dalam database <i>online</i> menggunakan <i>Cloud Firestore</i> . Penelitian ini memperoleh rata-rata nilai absolut <i>error</i> sebesar 5,855 mg/dl.
8.	Rancang Bangun Sistem Pendeteksi dan Pemantauan Rekam Medis Penyakit Diabetes Secara Non-Invasive Berbasis Komputer	Febrisia Lidia, Sabar Setiawidayat, dan Dedi Usman Effendy, tahun 2018	Sensor TCS3200, Atmega8, LCD	Peneliti merancang alat pengukuran gula darah dalam tubuh secara <i>non-invasive</i> dengan menggunakan urin. Penelitian ini menggunakan sensor TCS3200 untuk membaca kadar gula darah dan menggunakan Atmega8 sebagai pusat kendali. <i>Output</i> dari penelitian ini akan tampil di LCD dan data akan tersimpan database rekam medis sehingga pasien dapat monitoring secara berkelanjutan.
9.	Rancang Bangun	Gatot Santoso,	Potodida, Cahaya	Peneliti membuat alat pengukuran kadar gula

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
	Prototipe Detektor Glukosa Darah Secara Non-Invasive Menggunakan Near Infrared	Subandi, Slamet Hani, dan Agung Junian Wicaksono tahun 2018	Inframerah, LCD, Arduino Nano	darah <i>non-invasive</i> dengan cahaya inframerah dan photodiode. Mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Nano. Hasil dari pengukuran kadar gula darah akan ditampilkan pada layar LCD 16x2. Penelitian yang telah dilakukan memperoleh skala tegangan 0,43 volt-0.45 volt.
10.	An IoT-Based Non-Invasive Glucose Level Monitoring System Using Raspberry Pi	Antonio Alarcón-Paredes, Victor Francisco-García, Iris P. Guzmán-Guzmán, Jessica Cantillo-Negrete, René E. Cuevas-	Raspberry Pi Zero	Peneliti membuat rancangan pengukuran kadar gula darah bagi penderita diabetes dengan menggunakan Raspberry Pi Zero berbasis IoT. Data pengukuran diproses menggunakan metode <i>Artificial Neural Network</i> (ANN). Pada penelitian ini mendapatkan kesalahan absolut rata-

No	Judul	Penulis, tahun	Alat yang digunakan	Penjelasan
		Valencia dan Gustavo A. Alonso-Silverio tahun 2019		rata sebesar 10,37%.
11.	<i>Design of Instrumentation in Detecting Blood Sugar Levels with Non-Invasive Technique Base on IoT (Internet of Things)</i>	Eko Agus Suprayitn, Akhmad Setiawan, dan Rohman Dijaya tahun 2018	Sensor MAX30100, LCD, <i>Smartphone</i>	Peneliti membuat rancangan deteksi kadar gula darah <i>non-invasive</i> menggunakan sensor MAX30100 sebagai mikrokontrolernya. Hasil dari pengukuran akan tampil di LCD dan dikirim ke <i>smartphone</i> . Hasil akurasi mendapatkan nilai sebesar 90,3% dengan deviasi 1,2-39.6%

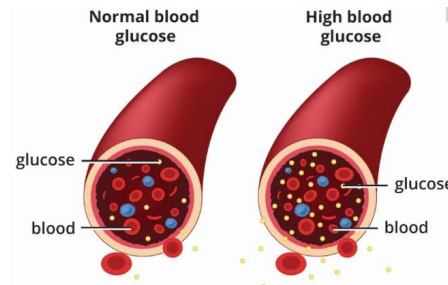
2.2 DASAR TEORI

Pada bagian dasar teori menjelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam penelitian, termasuk metode yang digunakan beserta komponen komponen pendukung lainnya. Dasar teori yang digunakan meliputi :

2.2.1 Gula Darah

Glukosa merupakan sebuah senyawa karbohidrat sederhana yang mempunyai rumus $C_6H_{12}O_6$. Glukosa berasal dari bahasa Yunani yaitu glukus

yang mempunyai arti manis[37]. Glukosa sendiri adalah salah satu kelompok dari monosakarida. Glukosa sering terdapat dalam buah-buahan dan madu. Fungsi glukosa di dalam tubuh yaitu sebagai sumber energi bagi sel-sel syaraf dan otak.[1].



Gambar 2.1 Darah pada kadar glukosa normal dan tinggi[29]

Kadar glukosa dalam tubuh manusia dapat bervariasi pada setiap waktu [1]. Ketika tubuh mengonsumsi makanan yang memiliki kandungan karbohidrat, kadar glukosa dalam tubuh dapat meningkat. Akan tetapi kadar glukosa dalam tubuh dapat kembali normal setelah 2 jam makan[5].

Tabel 2.2 Kategori Kadar Gula Darah Sewaktu [42]

No	Kategori	Nilai Kadar Gula Darah
1.	Hipoglikemia	≤ 70 mg/dl
2.	Hiperglikemia	≥ 200 mg/dl

Dalam pemeriksaan GDS, jika tingkat gula darah berada di bawah 70 mg/dL, itu menunjukkan bahwa seseorang mengalami hipoglikemia, sedangkan jika kadar gula darah melebihi 200 mg/dL, itu menandakan bahwa seseorang mengalami hiperglikemia[42]. Peningkatan kadar gula darah pada tubuh seseorang dipengaruhi oleh banyak faktor seperti gaya hidup, usia, riwayat keturunan, jenis kelamin, dan pola makan sehari-hari. Seiring bertambahnya usia kemampuan insulin untuk berfungsi secara optimal akan menurun hal itu menyebabkan peningkatan kadar gula darah dalam tubuh. Selain usia, jenis kelamin merupakan salah satu faktor yang menjadi penyebab tingginya kadar gula darah dalam tubuh. Persentase pasien diabetes lebih tinggi wanita daripada pria. Ini disebabkan karena wanita cenderung memiliki komposisi lemak tubuh yang lebih tinggi daripada pria, sehingga mereka lebih rentan terhadap kegemukan, yang juga berhubungan dengan risiko obesitas dan diabetes[39].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nezhad et al. pada tahun 2008, terdapat perbedaan dalam persentase individu yang menderita diabetes mellitus antara pria dan wanita. Persentase penderita diabetes pada pria sebesar 5,1%, sedangkan pada wanita sebesar 5,8%. Berbagai studi juga telah menunjukkan bahwa wanita memiliki angka kejadian diabetes mellitus yang lebih tinggi dibandingkan pria. Hal ini dapat dijelaskan oleh tingkat aktivitas fisik yang lebih rendah pada perempuan, terutama di antara ibu rumah tangga[40].

2.2.2 Diabetes

Diabetes mellitus yaitu suatu penyakit kronis dimana penderita dari penyakit diabetes tidak mampu menghasilkan insulin di dalam tubuh yang cukup sehingga mengakibatkan gula darah di dalam tubuh mengalami peningkatan. Organ tubuh yang disebut pankreas mempunyai peran yang cukup penting dalam mengontrol kadar gula darah dalam tubuh serta menghasilkan hormon insulin. Hormon insulin berfungsi untuk mengendalikan kadar gula darah dan mengolah protein, karbohidrat, lemak, dan vitamin menjadi sumber energi yang diperlukan [14]. Insulin adalah hormon yang memiliki kemampuan untuk mengatur dan mengendalikan kadar glukosa dalam darah agar tetap stabil[5]. Hormon ini bertugas dalam proses pengolahan gula dalam tubuh manusia. Seseorang dianggap menderita penyakit diabetes ketika kadar glukosa darah di dalam tubuhnya melebihi batas normal. Diabetes melitus adalah penyakit yang kompleks, dan perawatan medis yang berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi dampak komplikasi dengan melakukan pengukuran glikemik secara rutin.[15]. Kondisi penderita diabetes melitus ditandai dengan ketidakmampuan tubuh dalam menggunakan hormon insulin yang mengakibatkan hormon insulin tidak berfungsi dengan optimal dalam menjalankan metabolisme glukosa[16].

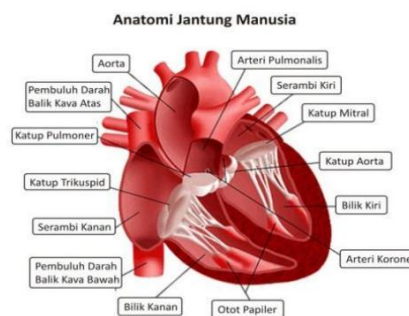
Diabetes melitus dibagi menjadi dua tipe, yaitu diabetes melitus tipe I dan diabetes melitus tipe II. Penderita diabetes melitus tipe I membutuhkan asupan insulin dari luar (eksogen insulin), seperti melalui injeksi, untuk menjaga kelangsungan hidup. Jika tidak ada suplai insulin dalam tubuh, penderita diabetes dapat mengalami kondisi yang disebut diabetik ketoasidosis. Di sisi lain, penderita dengan diabetes melitus tipe II mempunyai resistensi terhadap insulin, yang berarti tubuh tidak mampu merespons dengan baik terhadap insulin yang telah

dihasilkan. Hal ini mengharuskan penderita untuk secara terus-menerus mengatur pola makan guna mencegah terjadinya hipoglikemia (kadar gula darah di bawah batas normal) dan hiperglikemia (peningkatan kadar gula darah) selama sisa hidupnya [17].

Penderita diabetes melitus seringkali mengalami masalah pengendalian kadar gula darah yang tidak terkontrol. Setelah mengonsumsi makanan yang kaya akan karbohidrat dan/atau gula, kadar gula darah dapat meningkat secara drastis. Oleh sebab itu, penting bagi penderita diabetes melitus untuk memperhatikan pola makan mereka untuk mengontrol kadar gula darah agar tetap dalam kadar normal. Penderita harus menyadari bahwa dengan memiliki kadar gula darah yang tinggi dalam jangka panjang dapat menyebabkan komplikasi atau penyakit lain pada berbagai organ tubuh. Risiko bagi penderita diabetes meliputi kemungkinan dua kali lebih besar mengalami stroke akibat masalah pembuluh darah otak, lima kali lebih besar kemungkinan terkena ulkus atau gangrene akibat masalah pembuluh darah, dua puluh lima kali lebih besar kemungkinan kehilangan penglihatan akibat masalah pembuluh darah mata, dan tujuh kali lebih besar kemungkinan mengalami gagal ginjal kronis akibat masalah pembuluh darah ginjal [18].

2.2.3 Jantung

Jantung merupakan organ vital dalam tubuh manusia yang memiliki fungsi utama dalam mengalirkan darah ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah. Laju detak jantung dapat mengalami perubahan tergantung pada rentang usia individu. Denyut jantung seseorang dapat bervariasi sesuai dengan faktor usia.



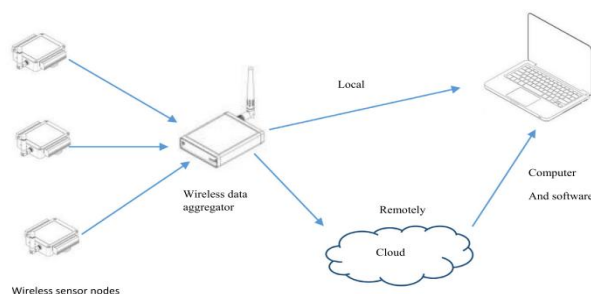
Gambar 2.2 Anatomi Jantung Manusia[41]

Ketika bayi yang baru lahir mempunyai denyut jantung sekitar 130-150 denyut per menit (bpm), sementara balita biasanya memiliki denyut jantung dalam kisaran 100-120 bpm. Anak-anak memiliki denyut jantung normal sekitar 90-110

bpm, sedangkan pada dewasa, kisarannya adalah 60-100 bpm. Namun, saat seseorang berolahraga, denyut jantung normal dapat berbeda tergantung pada usia mereka. Orang dewasa usia 20-35 tahun dapat memiliki denyut jantung normal saat berolahraga antara 95-170 bpm. Untuk usia 35-50 tahun, kisaran denyut jantung normal saat berolahraga adalah 85-155 bpm. Sedangkan pada lanjut usia yang berusia di atas 60 tahun, denyut jantung normal saat berolahraga berkisar antara 80-130 bpm. Dalam semua kasus, perlu diingat bahwa angka-angka ini bersifat umum, dan denyut jantung dapat bervariasi antara individu. Faktor-faktor seperti tingkat kebugaran fisik dan kondisi kesehatan umum juga memainkan peran penting dalam menentukan denyut jantung seseorang[41].

2.2.4 *Internet Of Things*

Internet of Things yaitu teknologi canggih yang bermaksud untuk mengembangkan dan memperluas jaringan di internet, serta merujuk pada perangkat dan sistem di berbagai dunia yang saling terhubung melalui internet. Istilah "*Internet of Things*" terdiri dari dua kata, yaitu "*internet*" yang mengacu pada menghubungkan dan mengatur konektivitas, serta "*things*" yang merujuk pada objek atau perangkat. Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh Alexandre Ménard dari *McKinsey Global Institute*, *Internet of Things* merujuk pada teknologi yang memungkinkan mesin, perangkat, dan objek fisik lainnya terhubung melalui sensor serta aktuator untuk mengumpulkan data dan mengelola operasinya sendiri. Dengan demikian, kolaborasi antara berbagai mesin menjadi mungkin. IoT mewakili suatu konsep komputasi yang mendeskripsikan masa depan yang mana setiap objek fisik bisa terhubung dengan internet, memungkinkan komunikasi saling berlangsung dan identifikasi antar perangkat[19].



Gambar 2.3 Sistem Instrumen IoT[32]

Internet Of Things sangat penting karena sudah banyak diterapkan di berbagai kehidupan. Contoh impementasi *Internet Of Things* yaitu *monitoring* implant jantung, hewan peternakan menggunakan transponder *biochip*, *smarthome*, *smartcity*, dan sistem *e-tilang*. Berikut beberapa manfaat *Internet Of Things* yaitu :

1. Bidang Kesehatan

Manfaat IoT dalam bidang kesehatan yaitu agar kerja dokter dapat lebih efisien serta bisa meminimalisir waktu dalam pengerjaan tugasnya.

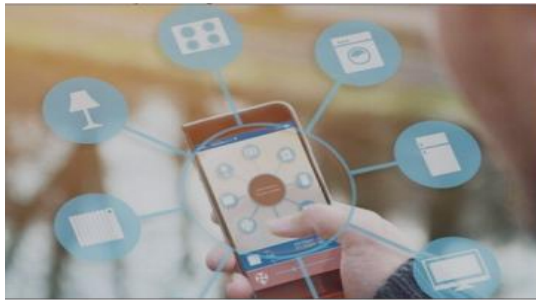
2. Pendidikan

Manfaat IoT dalam bidang pendidikan yaitu dapat membantu meningkatkan keamanan sekolah, memantau kehadiran siswa dan staff, mempermudah dalam peminjaman buku, mempermudah absensi, dan pembelajaran dengan sistem *E-Learning*.

3. Pelayanan publik

Manfaat IoT dalam pelayanan publik yaitu dapat mempermudah manusia untuk menjalankan aktivitas kehidupan sehari-hari. Contohnya dalam pelayanan publik seperti *E-Tilang*, *jakarta one card*, dan bus modern.

4. Kehidupan sehari-hari



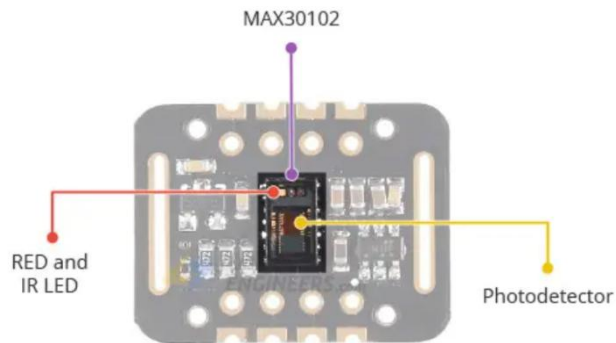
Gambar 2.4 *Internet Of Things*[19]

Manfaat IoT pada kehidupan sehari-hari yaitu membantu perangkat elektronik agar dapat terhubung ke internet yang berfungsi agar dapat melakukan pengoperasian jarak jauh[20].

2.2.5 Sensor MAX30102

Sebuah sensor yang diproduksi oleh *Maxim Integrated* yaitu sensor MAX30102 yang mana sensor tersebut mampu mendeteksi laju denyut jantung dan suhu tubuh. Sensor MAX30102 memiliki pemancar cahaya *infrared* dan

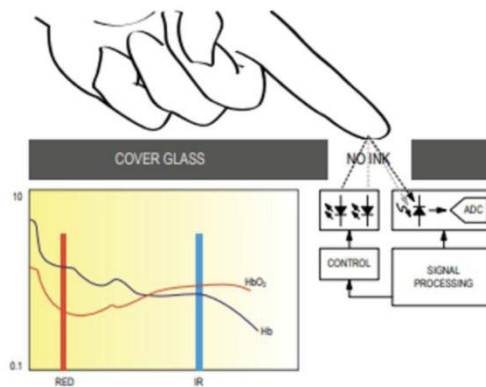
photodetector. Sensor MAX30102 digunakan dalam asisten kebugaran yang mampu memantau dan mengontrol kondisi tubuh selama aktivitas olahraga, dengan menggunakan *interface* smartphone atau perangkat lainnya sebagai penunjang [21].



Gambar 2.5 Sensor MAX30102[31]

Sensor MAX30102 beroperasi pada sumber tegangan tunggal dengan rentang antara 1,8 Volt hingga 3,3 Volt. LED internal pada sensor menggunakan sumber tegangan terpisah sebesar 3,3 Volt. Modul sensor MAX30102 telah terintegrasi dengan antarmuka I2C yang memungkinkan komunikasi antara mikrokontroler dan smartphone. Modul ini juga dapat dikontrol melalui perangkat lunak (*software*). Berikut adalah spesifikasi dari sensor MAX30102 [18]:

1. Rentang Tegangan Operasi: 1.8V hingga 3.3V
2. Masukan Arus: 20mA
3. Dilengkapi dengan lampu untuk area tangan
4. Kemampuan membaca data sampel pada tingkat tinggi
5. Kemampuan untuk mengirimkan data.
6. Catu daya 3.3V hingga 5.5V
7. Panjang Gelombang LED Merah 660nm
8. Panjang Gelombang IR LED 880nm
9. Kisaran suhu -40°C hingga +85°C
10. Akurasi Suhu $\pm 1^{\circ}\text{C}$

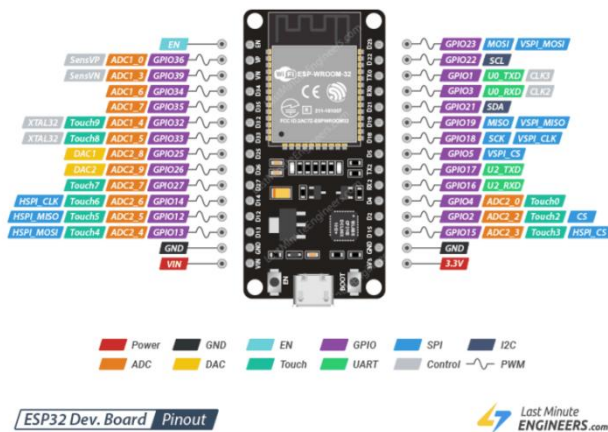


Gambar 2.6 Cara Kerja Sensor MAX30102[18]

Pada gambar 2.6 terlihat cara kerja sensor MAX30102. Sensor ini terdiri atas sepasang *Light-emitting diode* (LED) yang mampu memancarkan cahaya merah monokromatik dengan panjang gelombang yang dimiliki yaitu 660 nm dan cahaya *inframerah* dengan panjang gelombang yang dimiliki yaitu 940 nm. Sensor ini memiliki dua bagian, yaitu *diode* pemancar dan fotodetektor. Ketika fotodiode memancarkan cahaya, cahaya tersebut jatuh di atas jari yang harus ditempatkan dengan benar. Cahaya yang dipancarkan akan diserap oleh darah beroksigen, dan sisa cahaya akan dipantulkan kembali melalui jari menuju fotodetektor. Keluaran dari fotodetektor kemudian diproses dan dibaca oleh mikrokontroler [18].

2.2.6 NodeMCU ESP32

Mikrokontroler merupakan suatu sistem mikroprosesor yang mengintegrasikan berbagai komponen seperti CPU, ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Access Memory*), antarmuka *input-output* (*I/O interface*), *clock*, dan elemen-elemen internal lainnya yang telah terhubung dan diatur oleh produsen mikrokontroler. Semua komponen ini dibentuk dalam satu *chip* yang siap untuk digunakan. Ini memungkinkan pengguna untuk langsung menggunakan isi ROM sesuai dengan pedoman yang ditentukan oleh produsen[22]. Sebagai kelanjutan dari mikrokontroler ESP8266, mikrokontroler ESP32 merupakan inovasi dari *Espressif System*. Keunikan mikrokontroler ESP32 terletak pada dukungannya terhadap pengembangan sistem aplikasi dalam lingkup *Internet of Things* (IoT), yang disediakan melalui modul *Wi-Fi* yang telah terintegrasi langsung ke dalam *chip* tersebut[23].



Gambar 2.7 Pin Out Pada ESP32[30]

Mikrokontroler ESP32 memiliki beberapa keunggulan, termasuk sistem dengan biaya rendah dan konsumsi daya yang efisien berkat integrasi modul *Wi-Fi* dan *chip* mikrokontroler. Selain itu, dilengkapi dengan *Bluetooth* mode ganda dan fitur hemat daya, hal itu menjadikan pilihan yang sangat fleksibel[24]. Mikrokontroler ini juga memiliki lebih banyak *pin out* dan pin analog, serta kapasitas memori yang lebih besar. Dengan tambahan fitur *Bluetooth 4.0 low energy* dan konektivitas *Wi-Fi*, ESP32 sangat cocok untuk diterapkan dalam berbagai aplikasi *Internet of Things (IoT)*[25].

Tabel 2.3 Spesifikasi Mikrokontroler ESP32[23]

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	<i>CPU</i>	<i>Tensilica Xtensa LX6 32 bit Dual-core di 160/240Mhz</i>
2.	<i>SRAM</i>	<i>520 Kb</i>
3.	<i>FLASH</i>	<i>2 Mb</i>
4.	Tegangan	<i>2.2-3.6 V</i>
5.	Arus Kerja	<i>80Ma</i>
6.	Program	<i>C, C++, Phytion,dll</i>
7.	<i>Wi-fi</i>	<i>802.11 b/g/n</i>

No	Spesifikasi	Keterangan
8.	<i>Bluetooth</i>	<i>4.2BR/edr + ble</i>
9.	<i>UART</i>	3
10.	<i>GPIO</i>	32
11.	<i>SPI</i>	4
12.	<i>PWM</i>	8
13.	<i>ADC</i>	<i>18 (12-bit)</i>
14.	<i>DAC</i>	<i>2 (8-bit)</i>
15.	<i>I2C</i>	2

Mikrokontroler ESP32 mempunyai spesifikasi yang lengkap yang dapat dilihat pada tabel. Oleh karena itu mikrokontroler ESP32 dapat dijadikan pilihan sebagai alat peraga atau *interface*[23].

2.2.7 Telegram

Telegram merupakan aplikasi layanan pengirim pesan instan yang termasuk dalam kategori *social messaging*. Aplikasi ini menyediakan layanan pengiriman pesan instan berbasis cloud yang dapat di akses secara gratis. *Telegram* dapat diakses melalui berbagai perangkat seluler dan komputer, seperti *Android*, *iOS*, *Windows*, dan *Linux*. Pengguna bisa menggunakan *telegram* untuk mengirimkan *message*, foto, video, stiker, audio, ataupun berkas yang lainnya.



Gambar 2.8 Telegram[19]

Salah satu fitur menonjol dari *telegram* adalah kemampuan untuk mengirim pesan ujung ke ujung yang dapat dienkripsi secara opsional,

meningkatkan privasi dan keamanan komunikasi pengguna. Selain itu, Telegram juga menyediakan fitur *Bot*. *Bot Telegram* merupakan *bot* modern yang relatif lebih mudah dibuat daripada dengan *bot* sejenis lainnya. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk membuat *bot* kustom sesuai kebutuhan dan mengotomatiskan berbagai tugas. *Bot Telegram* telah menjadi salah satu fitur populer dalam aplikasi ini dan banyak digunakan oleh pengguna[19]. Langkah-langkah dalam pembuatan *bot telegram* sebagai berikut :

1. Pada aplikasi *telegram search botfather*. *Botfather* digunakan untuk membuat *bot* namun belum bisa dijalankan.
2. Untuk mulai pembuatan *bot* ketik */start*. *Botfather* akan memberikan info mengenai tahapan dalam pembuatan bot.
3. Selanjutnya ketik */newbot*. *Newbot* digunakan untuk membuat bot baru. Pada langkah ini akan memperoleh token untuk mengakses HTTP API.
4. *Bot* bisa digunakan ketika mengakses url yang telah diberikan oleh *botfather*.
5. Tahap berikutnya yaitu memulai *chat* pada *bot* yang telah berhasil dibuat dengan menekan *start*.

2.2.8 Arduino IDE

Arduino IDE adalah sebuah software atau perangkat lunak yang mana biasanya dimanfaatkan untuk membuat sebuah program yang dapat memberikan perintah kepada Arduino memakai bahasa C++. Dalam Arduino IDE, tersedia banyak library yang memudahkan pembuatan program.



Gambar 2.9 Tampilan Arduino IDE[26]

Terdapat tiga bagian utama pada *Software IDE* Arduino yaitu :

1. *Editor program*

Bagian ini digunakan untuk menulis serta mengedit program yang akan dijalankan . Program yang ditulis dalam Arduino IDE dinamakan sebagai "*sketch*".

2. *Compiler*

Bagian ini merupakan modul yang mentransformasikan bahasa *Processing* (kode program) ke dalam kode biner karena mikrokontroler memahami bahasa biner sebagai bahasa programnya.

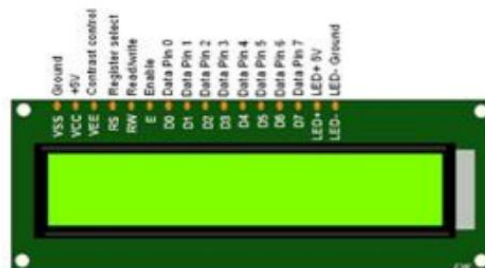
3. *Uploader*

Bagian ini adalah modul yang dimanfaatkan untuk memasukkan kode biner ke dalam memori mikrokontroler yang digunakan, sehingga Arduino dapat menjalankan program yang telah dibuat.

Dengan kombinasi dari ketiga bagian ini dapat membuat program Arduino dengan mudah dan mengunggahnya ke dalam papan Arduino untuk dieksekusi. [26].

2.2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan alat yang bisa dimanfaatkan untuk menunjukkan sebuah teks atau angka. LCD dijalankan dengan memasok tegangan 5 Volt DC. Pada alat pengukur kadar gula darah ini, digunakan LCD dengan karakteristik 16x2[5].



Gambar 2.10 Bentuk Tampilan LCD[5]

LCD atau biasa disebut dengan *Liquid Crystal Display* yaitu suatu modul tampilan elektronik yang berguna untuk menunjukkan informasi. LCD 16x2 dapat menampilkan 16 karakter dalam 1 baris, dan jumlah barisnya adalah 2, sehingga mampu menampilkan 16 karakter pada masing-masing barisnya (*Datasheet Character Module: East Rising*). LCD memiliki dua jenis register yang terdiri dari *register command* dan *register data*. *Register command* berisi daftar perintah yang berfungsi untuk menyimpan instruksi perintah yang diberikan untuk LCD. Instruksi ini memerintahkan LCD untuk melakukan tugas-tugas tertentu sesuai

dengan keinginan pengguna, seperti memanggil, membersihkan tampilan, menetapkan posisi kursor, mengendalikan tampilan layar, serta menampilkan karakter di layar.

Tabel 2.4 Keterangan *Pin* LCD[14]

No Pin	Pin	Keterangan
1	VSS	<i>Ground 0V</i>
2	VDD	<i>Logic Power Supply</i>
3	V0	<i>Operating Voltage For LCD</i>
4	RS	<i>Data</i>
5	R/W	<i>Read / Write</i>
6	E	<i>Enable Signal</i>
7	DB0	<i>Data Bit 0</i>
8	DB1	<i>Data Bit 1</i>
9	DB2	<i>Data Bit 2</i>
10	DB3	<i>Data Bit 3</i>
11	DB4	<i>Data Bit 4</i>
12	DB5	<i>Data Bit 5</i>
13	DB6	<i>Data Bit 6</i>
14	DB7	<i>Data Bit 7</i>
15	LED_A	<i>Back Light Anode</i>
16	LED_K	<i>Back Light Cathode</i>

LCD memiliki 16 pin yang mempunyai fungsi berbeda pada masing-masing pinnya. Fungsi dari setiap pin pada LCD dijelaskan secara rinci dalam tabel yang disediakan [14].

2.2.10 Pengukuran Kadar Gula Darah

Pengukuran tingkat gula darah melibatkan evaluasi jumlah glukosa atau gula dalam darah individu. Glukosa berperan sebagai sumber energi utama bagi tubuh, dan menjaga kadar gula darah tetap stabil menjadi faktor penting dalam menjaga kesehatan secara menyeluruh. Bagi penderita diabetes, melakukan pemeriksaan rutin terhadap tingkat gula darah menjadi langkah yang sangat kritis untuk mengelola kondisi kesehatan mereka. Dengan melakukan pengukuran ini,

penderita diabetes dapat memantau dan mengatur kadar gula darah mereka agar tetap stabil. Alat yang digunakan dirancang dengan persamaan rumus perhitungan untuk menghasilkan hasil yang mendekati dengan alat pengukuran konvensional. Berikut ini adalah persamaan perhitungan yang digunakan untuk mengonversi pengukuran kadar gula darah [7]:

$$\text{Nilai kadar gula darah} = \frac{\text{Nilai BPM}}{120 \text{ BPM}} \times 140 \text{ mg/dl} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Nilai BPM = Nilai BPM yang terukur

120 BPM = Nilai BPM normal pada manusia

140 mg/dl = Nilai kadar gula darah terindikasi diabetes

2.2.11 Akurasi dan *Error*

Setiap aktivitas manusia umumnya memerlukan proses pengukuran. Hasil dari pengukuran tersebut memiliki dampak yang signifikan bagi kehidupan dan masyarakat dalam meningkatkan efisiensi. Pemilihan alat ukur disesuaikan dengan besaran yang akan diukur. Alat ukur adalah alat yang digunakan untuk menentukan besaran fisika suatu benda. Alat ini memiliki implikasi yang luas pada beberapa bidang kegiatan seperti ilmu pengetahuan, bisnis dan pembangunan. Akan tetapi, alat ukur tidak dapat mengukur secara akurat suatu objek yang akan diukur hal ini sering disebut dengan kesalahan atau *error*. *Error* biasanya disebabkan karena kesalahan dalam penggunaan alat ukur maupun tidak berfungsinya alat ukur yang digunakan. Hal tersebut dapat diselesaikan permasalahannya dengan kalibrasi pada alat ukur. Kalibrasi adalah kegiatan membandingkan hasil pengukuran dengan besaran standar pada benda yang diukur. Kegiatan tersebut bertujuan memastikan bahwa alat ukur yang dibuat sesuai dengan rancangannya dan berfungsi dengan baik[27]. Dalam pengukuran terdapat istilah akurasi dan presisi.

Akurasi adalah ukuran seberapa dekat nilai yang diukur dengan nilai sebenarnya, mencerminkan tingkat ketepatan atau keakuratan. Ini merupakan representasi gabungan dari akurasi dan kesesuaian hasil dengan nilai absolut, di mana semakin mendekati nilai yang diukur dengan nilai sebenarnya, maka tingkat akurasi akan semakin tinggi. Untuk mengukur nilai akurasi dapat dengan menghitung nilai *error*. Persamaan nilai yaitu :

$$Error = \left| \frac{\text{Nilai invasif} - \text{Nilai noninvasif}}{\text{Nilai invasif}} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

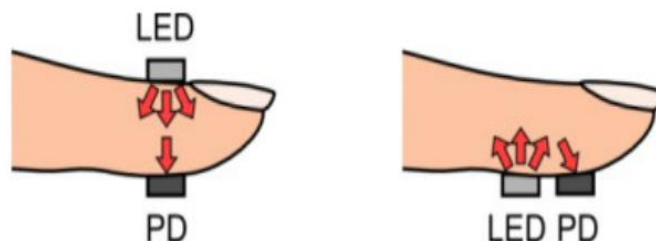
Selain nilai *error* hal lain yang harus diperhatikan dalam pengukuran yaitu akurasi dari alat yang dibuat. Persamaan nilai akurasi sebagai berikut :

$$Akurasi = 100\% - \% error \quad (2.3)$$

Dalam pengukuran, juga harus memperhatikan presisi. Presisi adalah konsistensi hasil pengukuran ketika diulang. Presisi menunjukkan sejauh mana pengulangan pengukuran tetap mendapatkan hasil yang sama atau tidak berubah. Nilai presisi bisa berubah disebabkan karena kesalahan acak pada proses pengukuran, seperti diakibatkan oleh alat ukur yang digunakan maupun karena faktor lainnya. Semakin tinggi nilai presisi, maka akan semakin kecil deviasi antar pengukuran[28].

2.2.12 Photoplethymography

Photoplethysmography (PPG) merupakan suatu metode pengukuran optik yang digunakan untuk mengidentifikasi perubahan volume dalam aliran darah dan mengukur fluktuasi cahaya yang diserap oleh darah.. Metode ini *non-invasif* dan dapat digunakan untuk mengukur laju denyut jantung serta kadar oksigen dengan mendeteksi perubahan aliran darah di dekat permukaan kulit. PPG menggunakan dua jenis LED, yaitu LED merah dan inframerah, serta fotodiode. Fungsi fotodiode adalah mengestimasi kekuatan cahaya yang berkaitan dengan perubahan volume darah serta penyerapan cahaya oleh hemoglobin di dalam sirkulasi darah. Volume darah di organ tubuh terus berubah karena dipompa oleh jantung. Informasi tentang perubahan volume darah ini dapat digunakan untuk menghitung detak jantung karena setiap puncak gelombang PPG berkorelasi dengan detak jantung[7].



Gambar 2.11 (a) Mode Transmisi (b) Mode Refleksi[21]

Terdapat dua metode pengukuran PPG yang biasanya digunakan, yaitu metode transmisi (*transmittance*) dan metode refleksi (*reflectance*). Pada metode

transmisi, LED dan fotodiode ditempatkan di antara jari, di mana cahaya dari LED melewati jari dan diterima oleh fotodiode. Metode ini hanya dapat dilakukan pada jari tangan, jari kaki, dan telinga. Sementara itu, pada metode refleksi, fotodiode ditempatkan di samping LED dan mengukur cahaya yang dipantulkan oleh jaringan tubuh. Ini memungkinkan pengukuran pada area tubuh yang lebih luas. Metode PPG memakai cahaya dengan panjang gelombang tertentu, seperti sinar inframerah (*IR-LED*), yang dipancarkan ke permukaan kulit. Hemoglobin dalam darah menyerap sebagian cahaya tersebut, sementara sisanya dipantulkan dan diterima oleh fotodiode untuk diubah menjadi ukuran yang setara dengan perubahan volume darah yang mengalir[21].