

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam pelaksanaan penelitian ini, penulis merujuk pada sejumlah studi sebelumnya. Tujuan dari hal tersebut adalah untuk mengevaluasi sejauh mana efektivitas dan produktivitas sistem pemantauan detak jantung yang dikembangkan, khususnya yang berbasis *ESP32*, *Pulse Sensor*, dan *Bluetooth Low Energy (BLE)*.

2.1.1 Penelitian Terdahulu 1

Penelitian yang telah dikerjakan oleh Agisty Eclesia Tatilu, Sherwin Sompie dan Janny Olny Wuwung, Tahun 2022 dengan judul "Perancangan Alat Monitoring Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Berbasis IoT Menggunakan Platform Blynk". Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah alat pemantauan detak jantung dengan memanfaatkan Sensor MAX30100 dan mikrokontroler *ESP32*. Sistem yang dibuat mampu menyajikan data detak jantung secara waktu nyata melalui platform *Internet of Things (IoT)*, khususnya dengan bantuan aplikasi *Blynk*. Data yang diperoleh dari pengukuran akan dikirimkan secara otomatis ke server agar dapat diakses dari lokasi yang berbeda. Perangkat yang digunakan dalam Penelitian ini melibatkan komponen utama berupa perangkat keras, yaitu Sensor MAX30100 dan *ESP32*, serta perangkat lunak berupa *Arduino IDE* untuk proses pemrograman dan *Blynk* sebagai aplikasi pemantauan berbasis *IoT*. Pengujian alat dilakukan pada sejumlah responden guna menilai kinerja, akurasi, dan keandalannya.

Kelebihan utama dari sistem ini terletak pada penggunaan ESP32 sebagai penghubung komunikasi nirkabel berbasis IoT, yang memungkinkan pengguna mengakses data pemantauan secara fleksibel Setiap saat dan dari lokasi mana pun. Di samping itu itu, perangkat dirakit menggunakan komponen dengan biaya relatif rendah, serta mampu mengirimkan data secara otomatis ke server untuk pemantauan langsung. Namun, penelitian ini juga menghadapi beberapa kendala. Salah satunya adalah ketergantungan terhadap Koneksi internet yang stabil sangat diperlukan agar sistem dapat berjalan dengan optimal. Selain itu, sensor masih rentan terhadap gangguan seperti pergerakan tubuh atau ketidaktepatan posisi saat penggunaan, yang dapat memengaruhi akurasi pembacaan data (Tatilu et al., 2022).

2.1.2 Penelitian Terdahulu 2

Penelitian yang telah dikerjakan oleh Firman Maulana Rosidi, Tahun 2021 dengan judul "Implementasi Sistem Telemedicine Untuk Monitoring Detak Jantung Berbasis Sensor AD8232" perancangan dan implementasi sistem pemantauan detak jantung nirkabel berbasis sensor denyut. Sistem ini memanfaatkan sensor AD8232 dan *mikrokontroler* ESP32 untuk membaca detak jantung secara *real-time*, lalu mengirimkan hasilnya ke perangkat Android melalui koneksi *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Data yang diterima ditampilkan melalui aplikasi Android sederhana yang memperlihatkan kecepatan detak jantung yang diukur dalam *Beats Per Minute (BPM)*. Tujuan dari sistem ini adalah menyediakan alat pemantauan kesehatan yang bersifat portabel, terjangkau, dan mudah digunakan, terutama untuk individu yang perlu mengawasi kondisi jantungnya secara berkala.

Keunggulan utama dari sistem yang dikembangkan terletak pada bentuknya yang praktis dan nirkabel, memungkinkan pengguna membawanya ke mana saja. Komponen yang digunakan pun bersifat ekonomis dan tersedia secara luas, sehingga alat ini dapat dibangun dengan biaya rendah. Meski demikian, Penelitian ini masih memiliki sejumlah keterbatasan, salah satunya yaitu sistem belum dilengkapi fitur penyimpanan data, sehingga informasi detak jantung hanya dapat dilihat secara langsung dan tidak tercatat sebagai rekam medis digital. Selain itu, keterbatasan jangkauan *BLE* membuat pengguna harus berada dalam jarak dekat dengan perangkat agar transmisi data berjalan lancar (Rosidi, 2021).

2.1.3 Penelitian Terdahulu 3

Penelitian yang dilakukan oleh Tan Suryani Sollu, Alamsyah, Muhammad Bachtiar, Ardi Amir, Benyamin Bontong, Tahun 2018 dengan judul "Sistem Monitoring Detak Jantung dan Suhu Tubuh Menggunakan Arduino" berfokus pada pengembangan alat pemantau kesehatan yang dapat mengukur detak jantung serta suhu tubuh secara bersamaan. Sistem ini memakai sensor AD8232 buat mendeteksi detak jantung serta mengubahnya ke pada satuan *Beats Per Minute (BPM)*, dan sensor DS18b20 buat mengukur suhu tubuh dalam derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Pengolahan data dilakukan melalui *Arduino Uno* sebagai unit kendali utama. Tujuan dari sistem ini adalah memberikan hasil pengukuran yang dapat ditampilkan secara *real-time*, baik melalui layar LCD maupun komputer server, sehingga pengguna dapat memantau kedua parameter vital secara langsung.

Keunggulan dari alat ini adalah kemampuannya dalam melakukan pemantauan terhadap dua indikator kesehatan penting secara bersamaan, yaitu

denyut jantung dan suhu tubuh. Selain itu, data dapat langsung diakses oleh pengguna melalui tampilan visual yang tersedia, menjadikan sistem ini cocok untuk pemantauan kondisi tubuh dasar secara langsung (*real-time*). Meskipun demikian, sistem ini mempunyai beberapa keterbatasan. salah satunya merupakan penggunaan *Arduino Uno*, serta belum mendukung konektivitas *WiFi* maupun *Bluetooth*, sehingga alat ini belum mampu melakukan transmisi data secara nirkabel. Hal ini menjadi kekurangan jika dibandingkan dengan perangkat seperti ESP32 yang lebih modern dan fleksibel (Sollu et al., 2018).

2.1.4 Penelitian Terdahulu 4

Penelitian yang telah dikerjakan oleh Fandi Aziz Pratama, Afu Ichsan Pradana, Dwi Hartanti, Tahun 2024 dengan judul " Pengembangan Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Detak Jantung, Saturasi Oksigen Darah, dan Suhu Tubuh Dengan Integrasi Iot Menggunakan ESP32" Penelitian ini mengembangkan perangkat monitoring kesehatan yang terintegrasi dengan aplikasi *mobile*, yang mampu mengukur detak jantung, kadar oksigen darah, dan suhu tubuh, dengan sensor MAX30102 digunakan untuk detak jantung dan SpO₂, serta sensor MLX90614 untuk suhu tubuh. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. sebagai unit pemroses utama yang berkomunikasi melalui protokol *Bluetooth Low Energy (BLE)*.

Keunggulan dari alat ini terletak pada kemampuannya memantau tiga parameter vital secara bersamaan dan menampilkan data secara *real-time* melalui aplikasi *mobile* yang dikembangkan menggunakan bahasa *Dart* dan *framework Flutter*. Selain itu, penggunaan *BLE* memungkinkan konsumsi daya yang rendah

serta fleksibilitas penggunaan di berbagai lokasi. Namun demikian, keterbatasan sistem ini terletak pada jangkauan sinyal *BLE* yang terbatas, sehingga pengguna harus berada dalam jarak dekat dengan perangkat agar transmisi data tetap optimal (Pratama et al., 2024).

2.1.5 Penelitian Terdahulu 5

Penelitian yang telah dikerjakan oleh Ria Hariri, Lutfi Hakim, Riska Fita Lestari, Tahun 2019 dengan judul "Sistem Monitoring Detak Jantung Menggunakan Sensor AD8232 Berbasis Internet of Things" berfokus pada pengembangan alat pemantauan detak jantung berbasis *Internet of Things* (*IoT*). Sistem ini memakai sensor AD8232 buat mendeteksi frekuensi detak jantung, yang selanjutnya dikirimkan secara *real-time* ke aplikasi *web* melalui modul *WiFi ESP8266*.

Keunggulan utama dari sistem ini adalah pemanfaatan teknologi nirkabel berbasis *IoT* dengan modul *MCU ESP8266*, yang memungkinkan pengguna buat memantau data dari jarak jauh kapan saja. Selain itu, sistem ini dibuat menggunakan komponen yang relatif terjangkau, dan hasil pemantauan dapat langsung diakses melalui aplikasi *web* yang telah dikembangkan. Namun demikian, sistem ini memiliki keterbatasan berupa ketergantungan pada koneksi internet. Tanpa jaringan yang stabil, perangkat tidak dapat berfungsi secara optimal (Hariri et al., 2019).

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Agisty Eclesia Tatilu, Sherwin Sompie , Janny Olny Wuwung	Perancangan Alat Monitoring Detak Jantung Dan Saturasi Oksigen Berbasis Iot Menggunakan Platform Blynk	2022	Penelitian ini menggunakan Metode Studi Literatur, Diskusi, Perancangan dan Implementasi, Evaluasi dan Pengujian	System monitoring detak jantung berbasis IoT yang menggunakan Pulse Oximetry Sensor (MAX30100), mikrokontroler ESP32, dan platform Blynk berhasil dibuat dan diuji. Sistem ini bisa membaca detak jantung serta kadar oksigen pada darah dari Sensor MAX30100 serta mengirimkan data secara real-time ke platform Blynk melalui koneksi

					WiFi dari ESP32. Data detak jantung yang terekam akan dikirimkan secara otomatis ke server sehingga dapat diakses dari jarak jauh.
2.	Firman Maulan a Rosidi	Implementasi Sistem Telemedicine Untuk Monitoring Detak Jantung Berbasis Sensor AD8232	2021	Penelitian ini menggunakan Metode Perancangan Alat, Pengujian Alat Dan Menganalisis Hasil	Perancangan alat monitoring detak jantung ini berhasil menggunakan komponen utama ESP32, Pulse Sensor, dan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) untuk mengirimkan data secara nirkabel. Sistem bekerja dengan baik dalam mendekripsi detak

					jantung dan mampu mengirim data ke aplikasi dengan delay yang cukup rendah dan stabil serta hasil pengujian memberikan bahwa alat mempunyai akurasi yang relatif baik
3.	Tan Suryani Sollu, Alamsyah, Muham mad Bachtiar , Ardi Amir, Benyamin	Sistem Monitoring Detak Jantung dan Suhu Tubuh Menggunakan Arduino	2018	Dalam penelitian ini, digunakan beberapa metode, yaitu studi literatur, perancangan sistem (baik perangkat keras maupun lunak), pengujian kinerja, serta	Sistem monitoring berhasil dirancang untuk memantau detak jantung serta suhu tubuh secara real-time. Perangkat keras yang dipergunakan terdiri dari sensor AD8232 sebagai sensor detak jantung, DS18b20 sebagai pendekripsi suhu tubuh serta

	Bontong			analisis terhadap hasil pengujian.	Arduino Uno. Pengiriman data berjalan secara stabil, dan pengguna dapat memantau kondisi tubuh melalui LCD dan Komputer Server dengan akurasi yang cukup baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan pembacaan detak jantung dan suhu tubuh yang konsisten
4.	Fandi Aziz Pratama , Afu Ichsan Pradana	Pengembangan Aplikasi Mobile Untuk Monitoring Detak Jantung, Saturasi	2024	Penelitian ini dilaksanakan dengan menerapkan pendekatan studi literatur	Sistem pemantauan kesehatan berbasis Internet of Things (IoT) ini dikembangkan menggunakan

	, Dwi Hartanti	Oksigen Darah, dan Suhu Tubuh Dengan Integrasi IoT Menggunakan ESP32	dan metode prototyping dalam pengembangan sistem.	ESP32, dengan mengintegrasikan dua sensor utama, yaitu MAX30102 untuk mendeteksi detak jantung dan kadar oksigen dalam darah, serta MLX90614 untuk pengukuran suhu tubuh. Sistem menggunakan komunikasi Bluetooth Low Energy (BLE) untuk menghubungkan ESP32 ke aplikasi mobile. dan data yang diperoleh Ditampilkan secara real-time pada perangkat lunak.
--	----------------	--	---	---

					hasil pengujian memberikan bahwa aplikasi dan perangkat berjalan dengan baik
5.	Ria Hariri, Lutfi Hakim, Riska Fita Lestari	Sistem Monitoring Detak Jantung Menggunakan Sensor AD8232 Berbasis Internet of Things	2019	Penelitian ini dilakukan melalui tahapan perancangan perangkat keras dan lunak, dilanjutkan dengan pengujian alat, serta analisis terhadap hasil yang diperoleh.	Penelitian ini berhasil merancang alat pemantau detak jantung menggunakan sensor AD8232 dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266, yang mendukung koneksi Internet of Things (IoT) sehingga memungkinkan pemantauan detak jantung secara <i>real-time</i> melalui antarmuka web.

					Hasil kalibrasi menunjukkan rata-rata error sebesar 1,21% dibandingkan alat medis rumah sakit, masih dalam batas toleransi standar ($\leq 5\%$). Pengujian dengan simulator pasien EKG menunjukkan error 1,7%, membuktikan bahwa sistem ini cukup akurat dan dapat diandalkan untuk pemantauan jantung secara berkelanjutan.
--	--	--	--	--	--

2.2 Teori Dasar Yang Digunakan

2.2.1 Detak Jantung

Detak jantung, atau yang biasa disebut denyut nadi, adalah jumlah detakan jantung dalam satu menit. Parameter ini termasuk salah satu tanda vital yang penting dalam tubuh manusia karena dapat mencerminkan status kesehatan secara

menyeluruh. Dalam dunia medis, detak jantung sering dijadikan sebagai indikator awal dalam menilai kinerja sistem *kardiovaskular*. Apabila frekuensi denyut jantung melebihi atau berada di bawah batas normal, hal ini bisa menjadi sinyal adanya gangguan kesehatan tertentu seperti stres, penyakit jantung, atau gangguan metabolismik.

Menurut Maliki dan Utama (2018) mengemukakan bahwa denyut jantung dapat menjadi alat evaluasi yang praktis dan cepat dalam menilai kondisi tubuh seseorang. Dengan pemantauan yang rutin, tenaga medis dapat mendeteksi secara dini kemungkinan gangguan kesehatan, sehingga penanganan dapat segera dilakukan secara optimal.

2.2.2 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) yaitu pendekatan inovatif pada dunia teknologi yang mengintegrasikan objek fisik ke dalam jaringan digital melalui koneksi internet. Konsep ini mengacu pada kumpulan perangkat pintar yang mampu saling berkomunikasi, mengakses, serta membagikan data secara otomatis tanpa keterlibatan langsung manusia. Keberadaan *IoT* memiliki peran penting dalam berbagai sektor, termasuk bidang kesehatan, transportasi, industri, hingga pertanian. Di dunia medis, perangkat berbasis IoT dapat memantau kondisi pasien secara real-time, yang mendukung intervensi medis yang lebih cepat serta tepat.

Menurut Eksan et al. (2023) menjelaskan bahwa istilah *IoT* terdiri atas dua komponen utama, yakni “*Internet*” sebagai jaringan komunikasi global yang menghubungkan perangkat, dan “*Things*” sebagai objek fisik yang dibekali

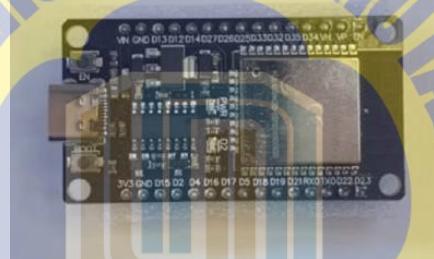
kemampuan untuk mendeteksi, mengirim, serta menerima data. Beberapa contohnya termasuk sensor suhu, perangkat *smart home*, alat monitoring kesehatan, hingga mesin otomatis dalam industri. Dengan demikian, *IoT* berfungsi sebagai jembatan antara dunia nyata dan digital yang memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan cerdas.

Dalam penelitian ini, teknologi *IoT* diterapkan pada sistem pemantauan detak jantung berbasis *Bluetooth Low Energy (BLE)*, yang memungkinkan komunikasi nirkabel antara perangkat dan aplikasi mobile. Sistem ini dirancang dengan mengacu pada hasil penelitian sebelumnya untuk memaksimalkan efisiensi, kestabilan, dan kecepatan respons dalam pemantauan detak jantung secara langsung. Tujuan utamanya adalah menghadirkan solusi pemantauan kesehatan jarak jauh yang praktis, tanpa perlu kunjungan rutin ke rumah sakit atau klinik.

2.2.3 ESP32

ESP32-WROOM merupakan modul mikrokontroler yang dibuat oleh *Espressif Systems* serta berbasis pada chip *ESP32*. Modul ini termasuk salah satu varian yang paling banyak digunakan dari keluarga *ESP32*, terutama dalam berbagai proyek *Internet of Things (IoT)*, otomasi rumah, perangkat *wearable*, hingga sistem pemantauan. Hal ini disebabkan oleh keunggulannya dalam hal kinerja, keluwesan, serta kemampuan konektivitas nirkabel yang mumpuni. Desainnya memang difokuskan untuk aplikasi *IoT* dan sistem *embedded* yang memerlukan koneksi *Wi-Fi* dan *Bluetooth* dalam satu modul berukuran ringkas namun efisien.

Secara teknis, *ESP32-WROOM* sudah dilengkapi menggunakan prosesor Xtensa® dual-core 32-bit yang bisa beroperasi sampai kecepatan 240 MHz. Selain itu, modul ini juga dibekali memori *RAM*, *flash*, serta sejumlah antarmuka komunikasi digital seperti *UART*, *SPI*, *I2C*, *ADC*, dan *PWM*. Agar dapat mendukung komunikasi nirkabel, modul ini dilengkapi dengan dukungan Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth versi 4.2., termasuk dukungan terhadap *Bluetooth Low Energy (BLE)*, yang sangat krusial untuk komunikasi jarak dekat yang hemat energi.



Gambar 2.1 Hardware ESP32

PRO PATRIA

Tabel 2.2 Tabel Spesifikasi ESP32 Wroom

Spesifikasi	Keterangan
Spesifikasi	Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 (240 MHz)
Memori	520 KB SRAM, hingga 16 MB Flash Eksternal
Konektivitas	WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2 (Classic & BLE)
GPIO (General Purpose Input Output)	34 pin dengan dukungan SPI, I2C, UART, PWM, ADC, dan DAC

2.2.4 Pulse Sensor

Pulse Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi detak jantung dengan pendekatan *photoplethysmography (PPG)*, yaitu teknik non-invasif yang memanfaatkan perubahan volume darah di pembuluh nadi yang terletak dekat permukaan kulit. Sensor ini terdiri dari *infrared LED* dan *photodetector* yang bekerja secara bersamaan—denyut nadi memengaruhi intensitas cahaya inframerah yang diterima oleh *photodetector*. Variasi cahaya tersebut kemudian diubah menjadi sinyal listrik, disaring, dan diperkuat melalui rangkaian dalam modul sensor sebelum dikirimkan ke mikrokontroler seperti *Arduino* atau sistem mikrokontroler lainnya.

Perangkat ini umum digunakan dalam sistem pemantauan kesehatan digital berbasis mikrokontroler dan modul komunikasi seperti *ESP32*. Saat sensor diaktifkan dan terhubung, ia dapat menampilkan data detak jantung secara *real-time*, yang kemudian dapat dikirim ke layar *LCD* atau ditampilkan melalui aplikasi pemantauan kesehatan untuk memberikan informasi detak jantung pengguna secara langsung dan akurat.

Tabel 2.3 Tabel Spesifikasi Pulse Sensor

Spesifikasi	Keterangan
Power	3V to 5v
Module Diameter	16mm
Magnification	330
Led Wavelength	609nm



Gambar 2.2 Pulse Sensor

Menurut Vinodhini dan Puviarasi (2019), *pulse sensor* merupakan perangkat sederhana yang umum digunakan dalam berbagai sistem. Sensor ini memiliki tiga koneksi utama, yakni *GND (ground)*, *VCC (tegangan input)*, dan *A0 (pin sinyal analog)*. Alat ini dapat mendeteksi detak jantung manusia dengan cepat hanya dengan menempelkan sensor ke ujung jari. Kepraktisan ini menjadikan *pulse sensor* sebagai solusi yang efisien untuk pemantauan detak jantung secara *real-time*, tanpa memerlukan perangkat medis yang rumit.

2.2.5 OLED (Organic Light Emitting Diode)

Organic Light-Emitting Diode (OLED) adalah teknologi layar canggih yang memanfaatkan material organik untuk memancarkan cahaya saat dialiri listrik. Berbeda dengan teknologi layar tradisional seperti *LCD* yang membutuhkan *backlight*, *OLED* memiliki kemampuan memancarkan cahaya secara mandiri (*self-emitting*), yang membuatnya lebih hemat energi, memiliki desain lebih ramping, serta menawarkan kualitas gambar yang lebih tajam.

OLED memiliki lapisan tipis bahan organik di antara dua elektroda. Saat diberi tegangan, elektron dan *hole* bertemu di lapisan emisi dan menghasilkan

cahaya. Setiap piksel dapat dikendalikan secara individual, sehingga menghasilkan warna hitam pekat, kontras tinggi, dan sudut pandang luas.

Tabel 2.4 Tabel Spesifikasi OLED (Organic Light Emitting Diode)

Spesifikasi	Keterangan
Ukuran Layar	0.96”
Resolusi	128x64 pixel
Tegangan Kerja	3.3-5v DC
Konsumsi Hemat Daya	0.06w
Chip	SSD1306
Interface	IIC
Viewing Angel	>160deg
Ukuran	29.5x27.35mm



Gambar 2.3 OLED (Organic Light Emitting Diode)

Menurut Sain, Sharma, dan Choudhary (2020), *Organic Light-Emitting Diode (OLED)* merupakan teknologi layar mutakhir yang bekerja dengan prinsip *electroluminescence*, yaitu kemampuan suatu bahan untuk menghasilkan cahaya

saat dialiri listrik. Dalam artikel mereka berjudul "*A Review Paper on: Organic Light-Emitting Diode (OLED) Technology and Applications*", dijelaskan bahwa *OLED* merupakan perangkat layar berlapis tipis di mana material organik pemancar cahaya ditempatkan di antara dua elektroda. Tidak seperti layar *LCD* yang membutuhkan cahaya latar (*backlight*), *OLED* mampu memancarkan cahaya sendiri, sehingga memungkinkan desain perangkat yang lebih ramping, ringan, serta efisien dari segi konsumsi daya. Selain itu, teknologi ini unggul dalam menampilkan warna yang tajam, memiliki sudut pandang lebar, waktu respons cepat, dan berpotensi diterapkan pada layar yang fleksibel maupun transparan.

2.2.6 Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE), yang juga dikenal sebagai *Bluetooth Smart*, adalah teknologi komunikasi nirkabel jarak pendek yang awalnya diperkenalkan oleh Nokia dengan nama *Wibree*. Teknologi ini kemudian diadopsi dan disempurnakan oleh *Bluetooth Special Interest Group (SIG)*, dan resmi diperkenalkan sebagai bagian dari standar *Bluetooth Core 4.0* pada tahun 2010. *BLE* dirancang secara khusus untuk mendukung kebutuhan perangkat *Internet of Things (IoT)* yang memerlukan konsumsi daya rendah dan latensi minimal. Teknologi ini beroperasi di frekuensi 2,4 GHz di pita *ISM*, menggunakan kanal selebar 2 MHz dan menerapkan teknik *frequency hopping*. Komunikasinya umumnya bersifat *point-to-point* dengan topologi jaringan bintang (*star network*), meskipun versi terbaru telah mengakomodasi *mesh networking*. Dengan mekanisme *advertising* dan *scanning*, *BLE* memungkinkan koneksi singkat dan efisien dari sisi energi. Oleh karena itu, teknologi ini sangat sesuai digunakan dalam

perangkat portabel berdaya rendah seperti sensor, *wearable devices*, dan alat kesehatan yang ringkas (Al-Shareeda et al., 2023).

Tabel 2.5 Tabel Perbandingan Bluetooth Low Energy dan WiFi

Aspek	Bluetooth Low Energy (BLE)	Wi-Fi
Konsumsi Daya	Sangat Rendah	Tinggi
Kecepatan Data	Lebih lambat, sekitar 1 Mbps	Lebih cepat, hingga 1 Gbps
Jarak Jangkauan	Lebih terbatas, sekitar 30 meter	Lebih luas, tergantung perangkat
Kapasitas Data	Lebih cocok untuk data kecil	Lebih baik untuk data besar

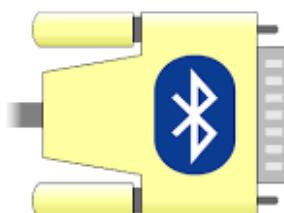
Pada penelitian ini, teknologi *Bluetooth Low Energy (BLE)* digunakan sebagai sarana utama dalam mengirimkan data detak jantung dari sensor menuju perangkat penerima, yaitu *smartphone*. Pemanfaatan *BLE* dipilih dibandingkan dengan *Wi-Fi* karena beberapa alasan teknis, khususnya terkait efisiensi energi dan kemudahan penerapan sistem.

BLE dirancang agar mampu bekerja dengan konsumsi daya yang sangat rendah, sehingga sangat cocok digunakan pada perangkat kesehatan portabel yang bergantung pada sumber daya baterai. Teknologi ini memang dikembangkan untuk komunikasi data secara periodik dengan kebutuhan daya minimal. Keunggulan lainnya adalah kompatibilitas *BLE* dengan perangkat seluler modern. Sebagian besar *smartphone* saat ini telah mendukung *BLE* secara bawaan, sehingga dapat

langsung digunakan bersama aplikasi seperti *Serial Bluetooth Terminal* tanpa perlu melakukan konfigurasi jaringan yang kompleks seperti pada koneksi *Wi-Fi*. Dengan alasan-alasan tersebut, *BLE* menjadi pilihan komunikasi yang paling tepat dalam sistem pemantauan detak jantung berbasis *telemedicine*, karena selain hemat daya, teknologi ini juga memungkinkan pengiriman data secara *real-time* dan terintegrasi dengan baik ke perangkat mobile pengguna.

2.2.7 Serial Bluetoooh Terminal

Serial Bluetooth Terminal merupakan aplikasi berbasis teks yang dirancang untuk menjembatani komunikasi antara perangkat Android dengan berbagai perangkat elektronik seperti Arduino atau mikrokontroler lainnya melalui koneksi *Bluetooth* dan antarmuka *serial/UART*. Aplikasi ini mendukung dua jenis koneksi, yaitu *Bluetooth Classic* dan *Bluetooth Low Energy (BLE)*. Dengan tampilan antarmuka yang mudah digunakan, aplikasi ini memfasilitasi pengguna dalam mengelola koneksi, serta mengirim dan menerima data secara langsung (*real-time*). Fitur ini sangat bermanfaat dalam proses pemantauan sistem dan *debugging*. Selain itu, *Serial Bluetooth Terminal* mendukung pengiriman data dalam format teks maupun biner, serta memungkinkan penyesuaian profil *Bluetooth* sesuai kebutuhan pengguna.



Gambar 2.4 Software Serial Bluetooth Terminal

2.2.8 Arduino IDE

Arduino ide (Integrated Development Environment) yaitu software yang dibuat untuk menulis, mengedit, serta mengunggah program ke papan mikrokontroler seperti *Arduino*. Melalui *Arduino ide*, pengguna dapat mengembangkan *sketch* pemrograman dengan antarmuka yang sederhana, sekaligus mengirim kode secara langsung ke perangkat tujuan. Aplikasi ini dikembangkan memakai bahasa *Java* serta dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*) yang mendukung hubungan input/output secara efisien. Selain untuk pemrograman dasar, *Arduino IDE* juga mendukung simulasi dan analisis parameter pada rangkaian analog maupun digital, termasuk analisis *AC*, *DC*, dan transien (Kamal et al., 2023).

Fitur lain yang menonjol adalah ketersediaan pustaka (*library*) dan contoh program bawaan (*example sketches*) yang mempermudah pengguna, terutama dalam pengembangan proyek seperti pengontrol sensor, aktuator, dan komunikasi serial. Karena bersifat *open-source* serta didukung komunitas pengguna yang besar,

Arduino IDE mendukung berbagai papan *mikrokontroler*, termasuk *ESP32* dan *ESP8266*, dengan menambahkan *board manager* yang sesuai.



Gambar 2.5 Software *Arduino IDE*