

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis sensor radar merupakan teknologi yang memungkinkan pengukuran kecepatan objek bergerak secara real-time tanpa kontak langsung. Teknologi ini tidak hanya penting untuk jalan raya, tetapi juga sangat relevan diterapkan di kawasan perumahan, di mana kendaraan sering kali melebihi batas aman kecepatan 20–30 km/jam. Kondisi tersebut dapat membahayakan anak-anak, pejalan kaki, maupun penghuni yang beraktivitas di sekitar jalan perumahan.

Salah satu sensor yang dapat digunakan adalah radar mmWave DFRobot C4001, yang bekerja berdasarkan prinsip efek Doppler untuk menghitung kecepatan kendaraan tanpa dipengaruhi kondisi cahaya atau cuaca. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan secara lokal melalui LED Dot Matrix, serta dapat dikirim ke server IoT (misalnya ThingSpeak) untuk pemantauan jarak jauh melalui smartphone. Beberapa penelitian terdahulu menjadi acuan dalam pengembangan sistem ini:

1. D. Saputra dan I. Fauzi (2022) mengembangkan sistem pemantauan kecepatan kendaraan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dan NodeMCU ESP8266. Sistem ini cukup akurat untuk kendaraan lambat, namun kurang optimal pada kecepatan tinggi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem sederhana bisa diterapkan di area terbatas, namun penggunaan radar mmWave lebih sesuai untuk lingkungan perumahan karena mampu mendeteksi kecepatan lebih stabil.
2. M. Anugrah, R. Handayani, dan Y. Prabowo (2021) menggunakan sensor radar dengan ESP32 untuk monitoring kecepatan kendaraan dan mengirimkan data ke ThingSpeak. Penelitian ini membuktikan efektivitas radar dibanding sensor optik. Namun, hasil hanya ditampilkan melalui web, sementara penelitian ini

menambahkan tampilan lokal (LED Dot Matrix) dan buzzer peringatan, yang lebih sesuai untuk kondisi perumahan.

3. R. Triyono dan L. Ramadhan (2023) menerapkan sensor mmWave untuk menghitung jumlah kendaraan dan kecepatan rata-rata di jalan raya dengan mikrokontroler STM32. Fokus penelitian tersebut pada lalu lintas umum, sedangkan penelitian ini lebih menekankan pada kecepatan tiap kendaraan di perumahan tanpa menghitung jumlah kendaraan.
4. S. Ardiansyah dan D. Mulyono (2022) merancang sistem peringatan kecepatan berlebih berbasis ESP32 dengan tampilan LCD dan buzzer. Penelitian tersebut relevan karena sama-sama memberi peringatan langsung, tetapi penelitian ini menambahkan fitur IoT untuk pemantauan jarak jauh dan menyesuaikan batas kecepatan sesuai standar perumahan (30 km/jam).
5. H. Kurniawan dan T. Wicaksono (2021) membangun sistem monitoring lalu lintas berbasis IoT dengan ESP32 dan server Firebase. Sistem ini mampu menampilkan grafik dan notifikasi pelanggaran. Penelitian ini memiliki kemiripan, tetapi penelitian ini lebih sederhana dengan menggunakan ThingSpeak sehingga lebih ringan dan praktis untuk diterapkan di kawasan perumahan.

2.2 Dasar Teori

Sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis sensor radar mmWave DFRobot C4001 merupakan inovasi dalam monitoring lalu lintas yang dirancang untuk mengukur dan menampilkan kecepatan kendaraan secara real-time tanpa intervensi manual. Sistem ini sangat berguna di berbagai lingkungan, seperti jalan tol, kawasan sekolah, jalan lingkungan, area parkir, dan kompleks perumahan yang membutuhkan pengawasan kecepatan. Keunggulan utama sistem ini dibandingkan dengan metode tradisional seperti speed gun atau kamera pengintai adalah kemampuannya untuk berfungsi dalam berbagai kondisi cuaca dan pencahayaan, serta sifatnya yang otomatis dan hemat daya.

Sensor mmWave DFRobot C4001 bekerja dengan prinsip efek Doppler, di mana sensor memancarkan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi dan mengukur perubahan frekuensi dari gelombang yang dipantulkan oleh kendaraan. Data kecepatan yang diperoleh dikirim ke mikrokontroler ESP32 untuk diolah dan kemudian ditampilkan pada LED Dot Matrix P10 di lokasi. Selain itu, data kecepatan juga dikirim ke platform IoT ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi, memungkinkan pemantauan jarak jauh secara real-time. Untuk mengelola tampilan visual pada LED Dot Matrix, ESP32 bekerja sama dengan Arduino Nano, yang bertanggung jawab untuk memastikan tampilan angka kecepatan yang stabil dan bersih.

Sistem ini juga dilengkapi dengan aplikasi monitoring berbasis Android yang memungkinkan pemantauan data kecepatan secara langsung dari perangkat mobile. Aplikasi ini, meskipun sederhana, memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau riwayat kecepatan kendaraan tanpa memerlukan tampilan grafik yang rumit. Dengan teknologi radar, mikrokontroler, dan integrasi IoT, sistem ini menawarkan solusi pemantauan yang fleksibel, hemat biaya, dan efisien, cocok untuk diterapkan di berbagai lokasi yang memerlukan pengawasan kecepatan secara real-time.

2.2.1 Deteksi Kecepatan Kendaraan Berbasis Mikrokontroler

Sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis mikrokontroler adalah penerapan teknologi embedded system untuk memantau kecepatan kendaraan secara otomatis dan real-time. Sistem ini bekerja tanpa keterlibatan manusia, dengan membaca data dari sensor dan mengolahnya menggunakan mikrokontroler. Tantangan dalam pengawasan berkendara adalah mengukur kecepatan secara cepat, efisien, dan konsisten—dan sistem ini hadir sebagai solusinya.

Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pemrosesan. Dengan prosesor dual-core dan Wi-Fi bawaan, ESP32 mampu menangani banyak input/output, memproses data sensor, dan mengirim data ke internet untuk

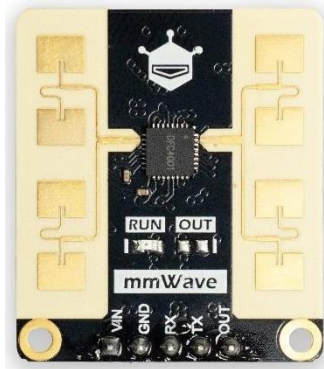
keperluan IoT. Dalam sistem ini, ESP32 membaca data dari sensor radar, mengolahnya, menampilkan hasilnya di LED, dan mengirimkannya ke server cloud secara otomatis.

Sensor yang digunakan adalah mmWave DFRobot C4001 yang bekerja berdasarkan efek Doppler. Sensor ini menghitung kecepatan dari perubahan frekuensi pantulan gelombang elektromagnetik. Data dikirim ke ESP32 via UART dan dikonversi menjadi km/jam, lalu ditampilkan di LED dot matrix agar mudah dipantau langsung. Selain tampilan lokal, sistem juga mengirim data secara real-time ke platform ThingSpeak menggunakan koneksi Wi-Fi ESP32, sehingga dapat dipantau jarak jauh melalui web atau aplikasi mobile. Sistem ini juga dilengkapi buzzer dan LED indikator sebagai peringatan jika kecepatan melebihi ambang batas, serta tampilan teks di LED seperti “Lambat” atau “Terlalu Cepat”.

Komponen utama terdiri dari sensor mmWave C4001, ESP32, LED dot matrix, step-down regulator, dan adaptor sebagai sumber daya utama. Tegangan AC diubah menjadi 12V DC, lalu diturunkan sesuai kebutuhan komponen menggunakan step-down module. Semua komponen dirakit dalam sistem terintegrasi yang terhubung secara digital dan serial.

Keunggulan sistem ini meliputi otomatisasi tanpa operator, pemrosesan cepat, dan akses data jarak jauh melalui internet. Berbeda dengan kamera atau sensor optik, radar tetap berfungsi di kondisi gelap atau berkabut. Sistem ini juga hemat daya dan lebih murah dibandingkan metode seperti ANPR. Dengan kombinasi radar dan mikrokontroler, sistem ini menjadi solusi efisien untuk pemantauan lalu lintas skala kecil-menengah, baik untuk edukasi, dokumentasi kecepatan, atau peringatan di area rawan pelanggaran. Meskipun tidak bisa mengidentifikasi kendaraan, data kecepatan yang dihasilkan cukup akurat untuk analisis dan pengambilan keputusan.

2.2.2 Sensor Radar C4001 (mmWave)



Gambar 2. 1 Sensor Radar DFRobot C4001

Sensor radar C4001 merupakan sensor kecepatan berbasis teknologi millimeter wave (mmWave) yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek dan menghitung kecepatan kendaraan secara non-kontak. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip efek Doppler, yaitu perubahan frekuensi gelombang yang dipantulkan oleh objek bergerak relatif terhadap sensor pemancar. Dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan, sensor mmWave memancarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi, kemudian gelombang tersebut akan mengenai kendaraan yang sedang bergerak dan dipantulkan kembali ke sensor. Ketika kendaraan mendekati sensor, frekuensi pantulan akan meningkat (blue shift), sedangkan jika kendaraan menjauhi sensor, frekuensinya menurun (red shift). Perubahan frekuensi inilah yang digunakan oleh sistem internal sensor untuk menghitung kecepatan relatif kendaraan terhadap posisi sensor.

Sensor mmWave C4001 dari DFRobot ini bekerja pada frekuensi 24 GHz dan memiliki kemampuan deteksi yang andal meskipun dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal, seperti hujan, kabut, atau gelap. Berbeda dengan sensor berbasis kamera atau cahaya, sensor radar tidak bergantung pada kondisi visual sehingga cocok digunakan pada jalan tol atau area dengan intensitas lalu lintas tinggi dan kecepatan kendaraan yang cepat. Keunggulan ini menjadikannya sangat sesuai untuk sistem pemantauan kecepatan otomatis.

Sensor ini dilengkapi dengan antarmuka UART yang memungkinkan komunikasi langsung dengan mikrokontroler seperti ESP32. Melalui protokol serial tersebut, data yang diperoleh dari sensor akan dikirim dalam bentuk digital ke mikrokontroler untuk diproses lebih lanjut. Output dari sensor ini dapat berupa kecepatan kendaraan (biasanya dalam satuan m/s) serta deteksi keberadaan objek (on/off) tergantung pada konfigurasi mode operasionalnya.

Dalam sistem tugas akhir ini, sensor C4001 dipasang menghadap jalur lalu lintas satu arah untuk memastikan bahwa setiap kendaraan yang melintas dapat dideteksi dengan benar. Sensor ini juga memiliki keunggulan lain berupa ukuran yang ringkas, konsumsi daya yang rendah, dan sensitivitas yang tinggi terhadap objek yang bergerak dalam jangkauan sekitar 5–10 meter, tergantung pada pengaturan parameter bawaan dan ketinggian pemasangan. Sensor ini sangat cocok digunakan untuk memantau kendaraan yang melaju dalam batas kecepatan antara 0,1 m/s hingga 10 m/s (sekitar 36 km/h), sehingga sangat memadai untuk aplikasi monitoring pada perumahan.

Data kecepatan yang diperoleh dari sensor radar C4001 akan diproses lebih lanjut oleh ESP32, lalu ditampilkan secara lokal melalui LED dot matrix, serta dikirim ke server cloud ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi untuk pemantauan secara jarak jauh. Dengan demikian, sensor radar C4001 memainkan peran yang sangat penting sebagai komponen input utama dalam keseluruhan sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis mikrokontroler dan Internet of Things (IoT).

Tabel 2. 1 Spesifikasi Sensor Radar DFRobot C4001

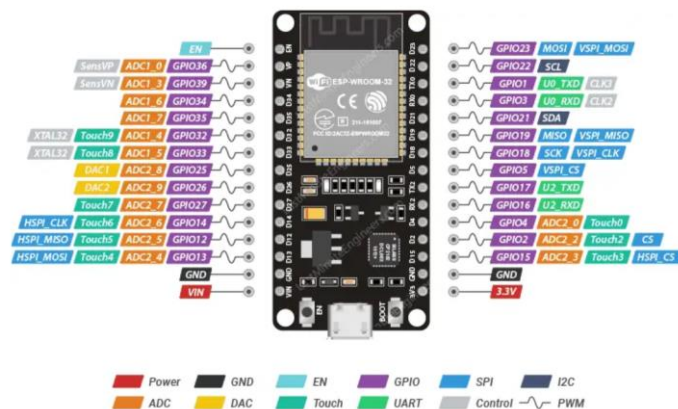
Kategori	Spesifikasi
Operating voltage	3.3/5V
Maximum detection range	25m
Beam angle	100x40°
Modulation mode	FMCW
Operating Frequency	24GHz
Operating Temperatur	-40~85°C

Baud rate	9600
Size	26x30mm

Tabel 2. 2 Pinout Sensor DfRobot C4001

Pin	ESP32 Pin
VCC (5V)	Vin
GND	GND
TX	RX2
RX	TX2

2.2.3 Mikrokontroler ESP32



Gambar 2. 2 ESP32

Mikrokontroler merupakan otak dari sistem tertanam (embedded system) yang berfungsi sebagai pusat kendali, pemroses data, dan penghubung antar komponen dalam suatu perangkat elektronik otomatis. Dalam tugas akhir ini, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32, ESP32 adalah mikrokontroler berbasis IoT buatan Espressif Systems yang memiliki konektivitas Wi-Fi dan performa tinggi. Dalam sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali untuk mengolah data kecepatan kendaraan dari sensor radar mmWave C4001 melalui komunikasi UART.

Data kecepatan yang diterima dikonversi dari m/s ke km/jam, lalu ditampilkan secara langsung melalui LED dot matrix menggunakan antarmuka SPI

dan driver IC MAX7219. Selain menampilkan data, ESP32 juga mengirimkan informasi kecepatan dan waktu ke server IoT ThingSpeak secara real-time melalui Wi-Fi, sehingga data dapat diakses dari jarak jauh. ESP32 juga mengatur fitur peringatan, seperti menyalakan LED atau buzzer saat kecepatan melebihi batas. Dengan arsitektur dual-core dan efisiensi daya melalui mode sleep, ESP32 cocok untuk sistem monitoring jangka panjang. Untuk suplai daya, digunakan modul step-down seperti LM2596 untuk menurunkan tegangan dari 12V ke 3.3V.

Secara keseluruhan, ESP32 mendukung seluruh fungsi utama sistem—mulai dari deteksi, pemrosesan, tampilan, hingga pengiriman data ke internet—secara otomatis dan responsif, menjadikannya komponen inti dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis IoT

ESP32 memiliki hingga 36 GPIO pin yang dapat dikonfigurasi untuk berbagai fitur seperti :

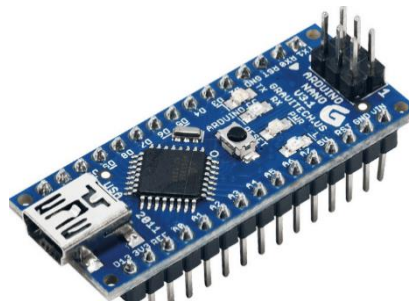
1. Digital Input/Output: Untuk membaca dan mengontrol sinyal digital
2. PWM (Pulse Width Modulation): Untuk mengontrol perangkat seperti motor dan lampu LED dengan sinyal gelombang lebar pulsa.
3. ADC (Analog to Digital Converter): Membaca sinyal analog dari sensor, seperti sensor suhu, kelembapan, atau cahaya.
4. DAC (Digital to Analog Converter): Menghasilkan sinyal analog dari data digital.
5. I2C, SPI, dan UART: Untuk komunikasi serial dengan perangkat eksternal seperti sensor, display, atau modul komunikasi.

Tabel 2. 3 Spesifikasi ESP32

Kategori	Spesifikasi
Mikrokontroller	ESP32
CPU	Dual-core Xtensa® 32-bit LX6
Kecepatan Clock	Hingga 240 MHz

Memori RAM	520 KB SRAM
Memori ROM	448 KB
Konektivitas	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth (Classic dan BLE)
GPIO (General Purpose I/O)	34 pin GPIO yang dapat dikonfigurasi untuk berbagai fungsi
Tegangan Operasi	3,3V (tegangan kerja)
Arus Maksimum per Pin	Sekitar 12 mA per pin
ADC (Analog-to-Digital Converter)	12-bit resolusi, hingga 18 saluran ADC (tergantung model)
DAC (Digital-to-Analog Converter)	8-bit resolusi, 2 saluran DAC
PWM (Pulse Width Modulation)	Ya, hingga 16 saluran PWM
SPI (Serial Peripheral Interface)	Ya, hingga 4 saluran SPI (tergantung model)
I2C (Inter-Integrated Circuit)	Ya, 2 saluran I2C
UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter)	Ya, hingga 3 saluran UART
Regulator Internal	Regulator 3.3V terintegrasi

2.2.4 Mikrokontroler Arduino Nano



Gambar 2. 3 Arduino Nano

Arduino Nano adalah salah satu jenis mikrokontroler berbasis ATmega328 yang dirancang dalam bentuk papan sirkuit kecil dan ringkas. Mikrokontroler ini sering digunakan dalam proyek elektronika yang memerlukan desain hemat ruang, namun tetap mendukung fitur pemrosesan dan komunikasi digital yang memadai. Arduino Nano menjadi pilihan tepat ketika sistem utama, seperti ESP32, membutuhkan pengendali tambahan untuk mengelola tampilan, sensor, atau perangkat output secara terpisah.

Dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan ini, Arduino Nano berfungsi sebagai pengendali tampilan LED Dot Matrix. Meskipun ESP32 memiliki kemampuan yang sangat mumpuni dalam pemrosesan dan konektivitas internet, pengelolaan tampilan Dot Matrix secara langsung memerlukan kontrol waktu dan komunikasi SPI yang stabil. Oleh karena itu, tugas pengendalian tampilan dialihkan ke Arduino Nano agar tidak membebani ESP32 dan mencegah terjadinya delay dalam proses pengiriman data ke cloud. Arduino Nano menerima data kecepatan dari ESP32 melalui komunikasi serial UART, kemudian meneruskan informasi tersebut ke LED Dot Matrix menggunakan protokol SPI (Serial Peripheral Interface).

Arduino Nano memiliki 32 KB flash memory, 2 KB SRAM, dan berjalan pada kecepatan clock 16 MHz, yang cukup untuk menjalankan fungsi tampilan LED secara cepat dan stabil. Board ini memiliki 22 pin input/output digital, yang sebagian besar dapat digunakan untuk komunikasi serial, SPI, PWM, serta pembacaan input analog. Arduino Nano juga memiliki dukungan library yang luas, seperti DMD2 dan MD_Parola, yang mempermudah pengguna dalam mengatur tampilan teks atau angka pada LED Dot Matrix Display P10.

Karena ukurannya yang kecil, Arduino Nano sangat fleksibel untuk ditempatkan pada papan PCB, baik untuk uji coba di breadboard maupun dalam perakitan akhir di sistem sebenarnya. Modul ini juga bisa diberi catu daya melalui koneksi USB Mini atau melalui pin VIN (biasanya 6–12V) dan memiliki regulator onboard untuk menghasilkan tegangan operasi 5V internal.

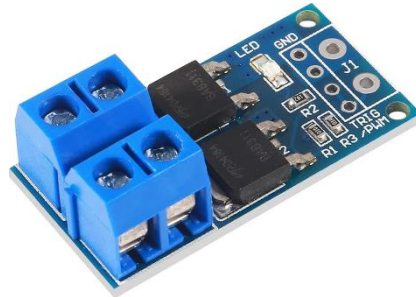
Adapun salah satu kelebihan Arduino Nano dibanding board Arduino lain seperti Uno atau Mega adalah kompatibilitasnya dengan breadboard, dan daya konsumsi yang rendah, menjadikannya ideal untuk sistem portabel atau aplikasi luar ruangan seperti alat deteksi kecepatan ini.

Dalam integrasinya, Arduino Nano pada sistem ini tidak hanya membantu menyederhanakan pengendalian display, tetapi juga memungkinkan sistem lebih modular dan terstruktur. Jika suatu saat ingin mengganti tampilan atau memperluas fungsi visualisasi, cukup dilakukan dengan memodifikasi program pada Arduino Nano tanpa mengubah program utama pada ESP32.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Arduino Nano

Kategori	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (disarankan)	7 – 12V
Tegangan Input (maksimum)	6 – 20V
Jumlah Pin Digital I/O	14
Pin dengan Output PWM	6 pin (D3, D5, D6, D9, D10, D11)
Pin Input Analog	8 pin (A0 hingga A7)
Memori Flash	32 KB (2 KB digunakan oleh bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Clock	16 MHz
Dimensi	±18 mm x 45 mm

2.2.5 Dual Mosfet Driver D4148 Switch Trigger PWM Module



Gambar 2. 4 Dual Mosfet Driver D4148

Dual MOSFET Driver D4148 Switch Trigger PWM Module adalah modul elektronik yang dirancang untuk mengendalikan dua MOSFET secara independen atau bersamaan melalui sinyal logika dari mikrokontroler, sehingga mampu mengalirkan arus tinggi ke perangkat eksternal. Modul ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang memungkinkan mikrokontroler seperti ESP32 mengontrol beban berdaya tinggi dengan aman, termasuk lampu warning yang sudah dilengkapi buzzer dalam satu paket. Dengan menggunakan modul ini, arus tinggi yang dibutuhkan oleh lampu dan buzzer tidak langsung melalui mikrokontroler, sehingga mencegah kerusakan pada pin I/O dan meningkatkan stabilitas sistem.

Prinsip kerja modul ini cukup sederhana. Ketika ESP32 memberikan sinyal logika ke pin input modul, MOSFET di dalam modul menjadi konduktif, sehingga arus dari sumber daya utama (misalnya adaptor 12V) dapat mengalir ke lampu warning beserta buzzer, menyalakannya secara bersamaan. Sebaliknya, ketika sinyal logika tidak diberikan, MOSFET kembali ke kondisi non-konduktif sehingga arus ke lampu warning dan buzzer terputus dan perangkat mati. Modul ini juga mendukung input PWM, sehingga memungkinkan pengaturan durasi nyala atau intensitas daya secara elektronik, walaupun dalam aplikasi lampu warning dengan buzzer biasanya digunakan mode on/off sederhana.

Keunggulan penggunaan Dual MOSFET Driver D4148 antara lain adalah kemampuan mengendalikan dua beban sekaligus dengan satu modul, respon switching yang cepat, dan kompatibilitas dengan berbagai beban DC hingga arus tinggi sesuai spesifikasi modul. Modul ini juga memiliki proteksi internal terhadap

arus berlebih dan tegangan balik, sehingga perangkat yang dikendalikan lebih aman dan sistem lebih stabil.

Dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis ESP32, modul ini berperan sebagai penghubung dan pengendali lampu warning yang sudah terintegrasi dengan buzzer. Ketika sensor radar mmWave mendeteksi kendaraan melaju melebihi batas kecepatan, ESP32 mengirimkan sinyal trigger ke modul MOSFET. Modul kemudian mengaktifkan lampu warning dan buzzer secara bersamaan, memberikan peringatan visual dan auditori kepada pengemudi secara real-time. Tegangan suplai untuk lampu warning dengan buzzer ini berasal dari adaptor 12V, sementara modul MOSFET berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan sinyal logika ESP32, sehingga arus tinggi dapat dialirkan dengan aman tanpa membebani mikrokontroler.

Dengan penerapan Dual MOSFET Driver D4148, pengendalian lampu warning beserta buzzer menjadi lebih efisien, aman, dan responsif, karena dapat mengaktifkan beban berdaya tinggi secara langsung dengan sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler. Modul ini juga mempermudah pengembangan sistem lebih lanjut, misalnya penambahan fitur alarm otomatis, integrasi dengan sensor tambahan, atau pengaturan durasi nyala lampu, tanpa mengubah desain mikrokontroler utama. Secara keseluruhan, modul ini menjadi komponen penting dalam memastikan sistem peringatan pada alat deteksi kecepatan kendaraan bekerja secara stabil, efektif, dan profesional.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Dual Mosfet Driver D4148

Kategori	Spesifikasi
Tipe Modul	Dual Mosfet Driver D4148 Switch Trigger PWM Module
Input	Digital 3.3V – 20V DC
Frekuensi PWM	0 – 20 kHz
Output	DC 5V – 36V

Operating Temperature	-40°C - 85°C
Ukuran	3.4 x 1.7 x 1.2 cm

2.2.6 Step-down Regulator LM2596



Gambar 2. 5 Step-down Regulator LM2596

Step-down regulator atau buck converter adalah sebuah rangkaian konversi daya yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC dari level yang lebih tinggi ke level yang lebih rendah secara efisien. Salah satu modul step-down yang umum digunakan adalah modul berbasis IC LM2596. LM2596 merupakan regulator tegangan jenis switching mode power supply (SMPS) yang mampu menghasilkan tegangan output yang lebih rendah dan stabil dari tegangan input, dengan efisiensi tinggi yang berkisar antara 75% hingga 90%, tergantung pada kondisi beban dan perbedaan tegangan input-output. Modul ini memiliki rentang tegangan input sekitar 4.5V hingga 40V DC, dan mampu menghasilkan output yang dapat disesuaikan mulai dari 1.25V hingga 35V DC dengan arus maksimum hingga 2A secara berkelanjutan, atau hingga 3A dengan pendingin tambahan.

Prinsip kerja LM2596 didasarkan pada metode switching, yaitu dengan menyalakan dan mematikan saklar internal secara cepat, kemudian menggunakan induktor untuk menyimpan dan melepaskan energi secara bertahap ke beban. Proses ini memungkinkan regulator menghasilkan tegangan output yang lebih stabil dengan efisiensi tinggi dan panas yang lebih rendah dibandingkan regulator linier seperti 7805. Dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis ESP32, modul LM2596 digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber utama

(misalnya adaptor 12V DC) menjadi tegangan kerja yang dibutuhkan oleh berbagai komponen seperti mikrokontroler ESP32, sensor radar mmWave, dan modul tampilan LED dot matrix, biasanya sebesar 5V DC atau 3.3V DC.

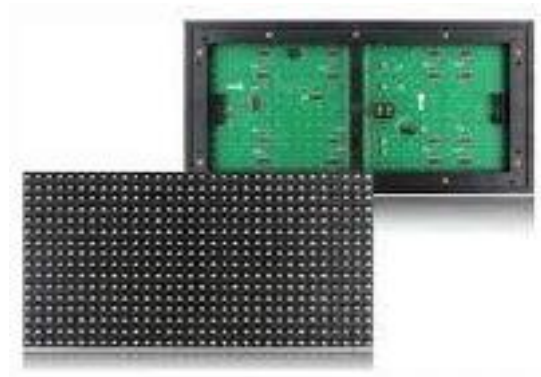
Penggunaan LM2596 memberikan sejumlah keuntungan, di antaranya efisiensi daya yang tinggi, pengaturan tegangan output yang fleksibel melalui potensiometer, serta kemampuannya menyuplai arus yang cukup besar untuk sistem elektronik yang kompleks. Selain itu, bentuk modul LM2596 yang praktis dan siap pakai memudahkan integrasi ke dalam rangkaian sistem. Meskipun demikian, sebagai regulator switching, LM2596 tetap menghasilkan sedikit noise (ripple) akibat proses switching internalnya, sehingga pada beberapa aplikasi sensitif diperlukan tambahan filter. Secara keseluruhan, LM2596 merupakan solusi ideal untuk pengaturan daya dalam sistem embedded seperti sistem pemantauan kecepatan kendaraan, karena kemampuannya menjaga kestabilan suplai tegangan dengan efisien dan andal.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Step-down Regulator LM2596

Kategori	Spesifikasi
Tipe Modul	LM2596 Step-down (Buck) Switching Regulator
Output Voltage Range	1.23V – 37V (Adjustable)
Output Current	Up to 3.0 A
Input Voltage Range	Up to 40V
Frekuensi Switching	150 kHz (Fixed Frequency Internal Oscillator)
Shutdown Mode	TTL Shutdown Capability
Standby Current	Low Power Mode: 80 μ A (typical)
Fitur Proteksi	Thermal Shutdown, Current Limit Protection, Cycle-by-Cycle Current Limiting
Kompatibilitas Lingkungan	Pb-Free, Moisture Sensitivity Level (MSL) = 1

Tipe Paket	TO-220 / D ² PAK
------------	-----------------------------

2.2.7 LED Dot Matrix Display



Gambar 2. 6 LED Dot Matrix P10

LED Dot Matrix Display adalah media tampilan visual berbasis susunan LED (Light Emitting Diode) yang mampu menampilkan karakter, angka, simbol, hingga animasi sederhana. Dot matrix bekerja dengan menyalakan titik-titik LED dalam formasi grid (baris dan kolom) untuk membentuk pola tertentu. Dalam proyek ini, digunakan modul LED Dot Matrix P10, yaitu panel monokrom berukuran 32×16 cm dengan pitch 10 mm dan resolusi 32 kolom × 16 baris, berisi total 512 LED.

Modul P10 umum digunakan pada papan informasi lalu lintas, sistem antrian, hingga sistem peringatan kecepatan kendaraan karena mampu menampilkan teks berukuran besar yang mudah dibaca dari jarak jauh. Dalam sistem berbasis mikrokontroler, modul ini dikendalikan oleh driver IC seperti 74HC595 yang bekerja dengan teknik shift register. Mikrokontroler ESP32 mengontrol modul P10 melalui protokol SPI, menggunakan library seperti PxMatrix atau DMD2 untuk mengatur tampilan secara efisien.

Pada sistem deteksi kecepatan kendaraan ini, LED Dot Matrix P10 berfungsi sebagai media output utama yang menampilkan kecepatan kendaraan secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor radar mmWave DFRobot C4001 diproses oleh ESP32 dan langsung ditampilkan dalam bentuk angka besar.

Tampilan P10 sangat cocok digunakan di ruang terbuka karena intensitas cahaya LED yang tinggi, sehingga tetap terlihat jelas meskipun terkena sinar matahari langsung. Modul ini dihubungkan ke ESP32 melalui pin data, clock, dan latch, serta diberi catu daya terpisah (5V DC) karena konsumsi dayanya cukup tinggi saat banyak titik menyala.

Selain sebagai media tampilan, modul ini juga berperan sebagai sarana komunikasi visual kepada pengguna jalan untuk memberikan peringatan atau edukasi mengenai batas kecepatan. Jika dibutuhkan tampilan lebih besar, beberapa modul P10 dapat dirangkai secara paralel untuk memperluas area visualisasi. Karena fleksibilitas dan ketahanannya terhadap kondisi luar ruangan, LED Dot Matrix P10 menjadi komponen penting dalam sistem ini.

Tabel 2. 7 Spesifikasi LED Dot Matrix Display P10

Kategori	Spesifikasi
Tipe Modul	LED Dot Matrix Display P10 Monochrome
Ukuran Fisik	320 mm x 160 mm (32 cm x 16 cm)
Resolusi	32 kolom x 16 baris (total 512 LED)
Warna LED	Merah / Hijau / Putih (tergantung varian)
Jarak Titik LED (Pitch)	10 mm
Tegangan Operasi	5V DC
Konsumsi Arus Maksimum	±2A per panel (saat semua LED menyala terang)
Antarmuka Komunikasi	HUB12 (biasanya dihubungkan melalui shift register + microcontroller)
Mode Pengendalian	Multiplexing dengan scanning baris per baris
Pengendali IC (umum)	IC Shift Register (misalnya 74HC595, MBI5026, dll.)

Metode Koneksi	Pin input data, clock, dan latch (melalui konektor IDC 16-pin)
Dukungan Pengontrol	Dapat dikontrol menggunakan Arduino, ESP8266, ESP32, STM32, dan Raspberry Pi
Sudut Pandang	$\pm 120^\circ$
Intensitas Cahaya	$\pm 350\text{--}600\text{ cd/m}^2$ (cocok untuk luar ruangan)
Jarak Pandang Ideal	5–15 meter
Waktu Respons	$< 100\text{ }\mu\text{s}$ (mikrodetik)
Temperatur Operasi	-20°C hingga $+70^\circ\text{C}$
Umur Rata-Rata LED	Hingga 100.000 jam penggunaan

2.2.8 Lampu Rotari Peringatan (Rotating Warning Light)



Gambar 2. 7 Lampu Rotari Peringatan

Lampu rotari peringatan merupakan jenis lampu yang digunakan untuk memberikan sinyal visual yang mencolok, umumnya digunakan pada kendaraan darurat atau sebagai tanda peringatan di area yang memerlukan perhatian lebih, seperti jalan raya atau kawasan perumahan. Lampu ini bekerja dengan cara berputar atau berkedip (flashing) untuk menciptakan efek visual yang dapat dilihat dari berbagai arah, baik pada siang maupun malam hari. Pada umumnya, lampu rotari menggunakan teknologi LED atau motor untuk menciptakan efek rotasi atau

kedipan yang konstan. Lampu LED rotari lebih efisien dalam hal penggunaan energi dan lebih tahan lama dibandingkan dengan lampu pijar tradisional, menjadikannya pilihan ideal untuk penggunaan jangka panjang dan di luar ruangan.

Fungsi utama dari lampu rotari peringatan adalah untuk memberikan peringatan visual yang jelas kepada pengemudi mengenai kondisi yang berbahaya atau perlu diwaspadai. Dalam konteks tugas akhir ini, lampu rotari peringatan digunakan untuk memberikan sinyal kepada pengemudi yang melaju dengan kecepatan melebihi batas yang telah ditentukan. Misalnya, ketika kendaraan melebihi batas kecepatan yang ditetapkan (misalnya 30 km/jam di kawasan perumahan), lampu rotari akan menyala untuk menarik perhatian pengemudi dan memberi peringatan agar mereka memperlambat kecepatan. Dengan menggunakan teknologi LED, lampu rotari tidak hanya hemat energi, tetapi juga tahan lama dan lebih dapat diandalkan dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan.

Keuntungan menggunakan lampu rotari peringatan dalam sistem deteksi kecepatan adalah kemampuannya untuk meningkatkan visibilitas dan memberikan peringatan yang cepat kepada pengemudi. Lampu ini efektif untuk digunakan di kawasan yang sering dilalui kendaraan, seperti jalan perumahan, di mana pengemudi mungkin tidak selalu sadar akan batas kecepatan yang berlaku. Selain itu, lampu LED rotari lebih tahan lama dan tahan terhadap cuaca ekstrem, sehingga sangat cocok digunakan dalam sistem pemantauan yang memerlukan durabilitas tinggi. Dengan kemampuannya untuk memberikan sinyal yang mencolok dan jelas, lampu rotari peringatan sangat membantu dalam meningkatkan keselamatan di jalan dan mencegah kecelakaan akibat pelanggaran batas kecepatan.

Tabel 2. 8 Spesifikasi Lampu Rotari Peringatan

Kategori	Spesifikasi
Jenis Lampu	Lampu Rotary Warning Light
Warna	Merah atau Kuning
Ukuran	4 inch atau 6 inch
Voltase	220 volt, 24 volt dan 12 volt

Nyala Lampu	Berkedip atau Berputar
Tipe	Buzzer dan Non Buzzer

2.2.9 Adaptor 12 V



Gambar 2. 8 Adaptor 12V

Adaptor merupakan perangkat konversi daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik arus bolak-balik (AC 220V) dari jaringan listrik menjadi tegangan arus searah (DC) yang dapat digunakan oleh berbagai peralatan elektronik. Dalam sistem elektronika modern, termasuk sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis mikrokontroler, adaptor memiliki peran yang sangat penting sebagai sumber catu daya utama. Adaptor memberikan suplai tegangan yang stabil, aman, dan sesuai dengan kebutuhan operasional rangkaian, sehingga seluruh komponen dalam sistem dapat bekerja secara optimal dan berkelanjutan.

Pada sistem tugas akhir ini, digunakan adaptor DC 12V sebagai sumber daya utama untuk menghidupkan sensor radar mmWave, mikrokontroler ESP32 (dengan bantuan modul step-down), serta modul tampilan LED dot matrix P10. Tegangan 12V dipilih karena cukup umum digunakan, kompatibel dengan berbagai perangkat, dan menyediakan arus yang relatif besar, khususnya ketika sistem menggunakan banyak LED yang menyala bersamaan. Adaptor ini menggantikan fungsi baterai atau power bank untuk aplikasi yang bekerja secara permanen di luar ruangan atau untuk jangka waktu panjang.

Adaptor bekerja dengan prinsip dasar penyearahan dan regulasi. Tegangan AC 220V dari listrik rumah diturunkan melalui transformator, kemudian

disarankan menggunakan rangkaian penyearah dioda (bridge rectifier), dan distabilkan melalui kapasitor filter serta rangkaian pengatur tegangan (voltage regulator) agar keluarannya berupa tegangan DC yang konstan. Pada adaptor berkualitas tinggi, proses ini dilakukan dengan efisien untuk meminimalkan noise dan fluktuasi tegangan yang dapat mengganggu komponen digital seperti mikrokontroler dan sensor.

Dalam sistem ini, adaptor tidak hanya menghidupkan satu komponen, melainkan mendistribusikan daya ke seluruh rangkaian melalui cabang keluaran. Untuk mencegah kerusakan, tegangan dari adaptor 12V disesuaikan kembali menggunakan modul step-down (misalnya LM2596) untuk diturunkan menjadi 5V atau 3.3V sesuai dengan kebutuhan ESP32 dan sensor. Oleh karena itu, adaptor harus memiliki arus output yang cukup besar agar mampu menyuplai daya ke semua komponen secara bersamaan tanpa drop tegangan.

Tabel 2. 9 Spesifikasi Adaptor 12V DC

Kategori	Spesifikasi
Tegangan Masukan (Input)	100–240V AC, 50/60 Hz
Tegangan Keluaran (Output)	12V DC
Arus Output Maksimum	2A – 10A (tergantung tipe yang digunakan)
Daya Output	24W – 120W
Jenis Output	Regulated DC
Tipe Konektor	DC Barrel Jack 5.5mm x 2.1mm (umum)
Proteksi	Overload, Overvoltage, Short Circuit
Efisiensi Konversi	>80%
Suhu Operasional	0°C – 40°C
Dimensi	±110 mm × 50 mm × 35 mm (tergantung model)

Penggunaan Umum	Sistem mikrokontroler, LED display, CCTV, router, dll.
-----------------	--

2.2.10 Internet of Things (IoT)



Gambar 2. 9 Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana berbagai perangkat fisik—seperti sensor, aktuator, mikrokontroler, dan peralatan elektronik lainnya—dapat saling terhubung melalui jaringan internet untuk bertukar data dan saling berkomunikasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung. Perangkat-perangkat tersebut dibekali kemampuan untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan menerima data sehingga memungkinkan pengawasan, pengendalian, dan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan efisien dari jarak jauh.

Konsep dasar dari IoT adalah menjadikan objek fisik “cerdas” dan “terkoneksi”. Objek tersebut mampu mendeteksi lingkungannya melalui sensor, mengirimkan informasi ke pusat pengolahan data (server/cloud), serta memungkinkan pengguna untuk memantau dan mengontrol perangkat dari mana saja melalui jaringan internet. Dalam sistem ini, data yang dihasilkan oleh perangkat akan dikirim secara terus-menerus atau periodik ke cloud server untuk disimpan, dianalisis, atau ditampilkan dalam bentuk grafik maupun notifikasi.

IoT biasanya terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- Perangkat sensor dan mikrokontroler (misalnya ESP32) sebagai pengumpul data dan pengendali lokal,
- Koneksi jaringan (Wi-Fi, Bluetooth, atau seluler) untuk menghubungkan perangkat ke internet,
- Cloud platform (seperti ThingSpeak, Firebase, Blynk) untuk menyimpan dan memvisualisasikan data,
- Aplikasi monitoring yang digunakan pengguna untuk melihat data atau mengatur sistem secara remote.

Dalam tugas akhir ini, konsep Internet of Things digunakan untuk mengirimkan data kecepatan kendaraan yang diperoleh dari sensor radar mmWave dan diproses oleh mikrokontroler ESP32, menuju ke platform cloud ThingSpeak. Data yang sudah sampai di server tersebut dapat diakses oleh pengguna melalui dashboard dari perangkat komputer maupun aplikasi HP. Dengan demikian, pemantauan kecepatan kendaraan dapat dilakukan secara real-time dan dari lokasi mana pun, tanpa perlu berada di dekat alat secara langsung.

Penerapan IoT dalam bidang transportasi—termasuk sistem deteksi kecepatan kendaraan—sangat relevan dengan perkembangan teknologi smart city dan intelligent transportation system (ITS). IoT mampu meningkatkan efisiensi pemantauan lalu lintas, membantu dalam pengambilan keputusan berbasis data, dan memberikan informasi yang akurat kepada pengelola jalan maupun pengguna.

Dengan terus berkembangnya teknologi jaringan dan perangkat embedded seperti ESP32, sistem berbasis IoT kini dapat dikembangkan secara lebih hemat biaya dan fleksibel, sehingga dapat diadopsi pada berbagai skala—baik untuk skala industri, pendidikan, maupun penelitian.

2.2.11 Konversi Satuan Kecepatan

Kecepatan adalah besaran vektor yang menunjukkan perubahan posisi suatu objek terhadap waktu. Dalam fisika, kecepatan umumnya dilambangkan dengan simbol v dan memiliki dua komponen penting, yaitu besar (magnitude)

yang menyatakan laju gerak objek dan arah (direction) yang menunjukkan ke mana objek tersebut bergerak. Dalam konteks rekayasa lalu lintas, khususnya untuk pengukuran kecepatan kendaraan, yang lebih sering diperhatikan adalah besar kecepatan atau laju kendaraan.

Dalam Sistem Internasional (SI), satuan baku kecepatan adalah meter per detik (m/s). Satuan ini menunjukkan jarak yang ditempuh objek dalam satu detik. Misalnya, kecepatan 10 m/s berarti objek bergerak sejauh 10 meter dalam satu detik. Namun, pada pengukuran lalu lintas dan peraturan transportasi di Indonesia serta di sebagian besar negara lainnya, satuan kecepatan yang umum digunakan adalah kilometer per jam (km/h). Oleh karena itu, dalam aplikasi monitoring kecepatan kendaraan, hasil pengukuran dalam m/s perlu dikonversi menjadi km/h agar sesuai dengan standar yang berlaku dan lebih mudah dipahami oleh pengguna umum.

Konversi dari satuan meter per detik (m/s) ke kilometer per jam (km/h) merupakan langkah penting dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan karena berkaitan langsung dengan standar pengukuran yang berlaku dan kemudahan pemahaman pengguna. Di Indonesia, seluruh peraturan lalu lintas dan batas kecepatan yang tercantum pada rambu jalan dinyatakan dalam km/h, sehingga hasil pengukuran kecepatan dalam m/s harus dikonversi terlebih dahulu agar dapat dibandingkan secara langsung dengan batas kecepatan yang berlaku di lokasi pemasangan alat. Selain itu, pengguna umum, seperti petugas lalu lintas maupun masyarakat, lebih familiar dengan satuan km/h dibandingkan m/s, sehingga informasi yang disajikan akan lebih intuitif dan mudah dipahami tanpa perlu perhitungan tambahan. Konversi ini juga menjaga konsistensi data yang dicatat dan dilaporkan, baik untuk kebutuhan analisis maupun pelaporan resmi. Dengan demikian, proses konversi kecepatan dari m/s ke km/h tidak hanya meningkatkan keterbacaan informasi, tetapi juga memastikan kesesuaian hasil pengukuran dengan standar teknis dan regulasi yang berlaku.

Konversi dari m/s ke km/h didasarkan pada hubungan dasar antara satuan jarak dan satuan waktu:

- 1 kilometer (km) = 1000 meter (m)
- 1 jam (h) = 3600 detik (s)

Jika suatu nilai kecepatan dinyatakan dalam m/s, untuk mengubahnya menjadi km/h dilakukan dua langkah:

1. Mengubah satuan waktu dari detik ke jam → kalikan dengan 3600 (jumlah detik dalam satu jam).
2. Mengubah satuan jarak dari meter ke kilometer → bagi dengan 1000 (jumlah meter dalam satu kilometer).

Secara matematis:

$$1 \text{ m/s} = \frac{1 \times 3600 \text{ m/jam}}{1000 \text{ m/km}}$$

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Dengan demikian, hubungan konversi dapat dirumuskan sebagai:

$$V_{\text{km/h}} = V_{\text{m/s}} \times 3,6 \quad (2.1)$$

Keterangan:

$V_{\text{km/h}}$ = kecepatan dalam kilometer per jam

$V_{\text{m/s}}$ = kecepatan dalam meter per detik

Contoh perhitungan:

Jika sensor radar mendeteksi kecepatan kendaraan sebesar 15 m/s, maka konversinya menjadi km/h adalah:

$$V_{\text{km/h}} = 15 \text{ m/s} \times 3,6 = 54 \text{ km/h}$$

Artinya, kendaraan tersebut melaju dengan kecepatan 54 km/h.

Pada sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis sensor radar mmWave DFRobot C4001 ini, data kecepatan awal yang diperoleh sensor secara default dinyatakan dalam satuan m/s. Hal ini terjadi karena sensor bekerja berdasarkan

prinsip efek Doppler, yang mengukur perubahan frekuensi gelombang pantul akibat pergerakan objek relatif terhadap sensor. Perubahan frekuensi ini diolah menjadi nilai kecepatan dalam satuan baku SI (m/s).

Agar data yang ditampilkan lebih relevan bagi pengguna di lapangan, mikrokontroler ESP32 yang mengolah data dari sensor akan melakukan konversi otomatis menggunakan persamaan:

$$V_{\text{km/h}} = V_{\text{m/s}} \times 3,6$$

Hasil konversi ini kemudian digunakan pada tahap selanjutnya:

- Pengiriman ke Arduino Nano untuk ditampilkan di LED Dot Matrix P10 dalam bentuk angka besar dan jelas.
- Pengiriman ke platform IoT ThingSpeak dan aplikasi monitoring smartphone untuk pemantauan real-time.

2.2.12 Platform ThingSpeak



Gambar 2. 10 ThingSpeak

ThingSpeak adalah sebuah platform Internet of Things (IoT) berbasis cloud yang menyediakan layanan penyimpanan, pemrosesan, visualisasi, dan analisis data sensor secara online. Platform ini dikembangkan oleh MathWorks dan mendukung pemrograman menggunakan MATLAB, sehingga memungkinkan pengguna melakukan analisis data secara langsung di cloud. ThingSpeak banyak digunakan dalam berbagai proyek IoT karena antarmukanya yang sederhana,

fleksibel, serta kompatibel dengan mikrokontroler populer seperti ESP8266, ESP32, dan Arduino.

ThingSpeak bekerja dengan sistem channel yang berfungsi sebagai wadah data dari setiap perangkat. Dalam satu channel, pengguna dapat mengatur beberapa field (kolom data) untuk menampung berbagai jenis informasi, seperti suhu, kelembapan, kecepatan kendaraan, tegangan, dan lain sebagainya. Setiap kali perangkat mengirimkan data, informasi tersebut akan secara otomatis disimpan di channel yang telah ditentukan dan dapat dilihat dalam bentuk grafik, tabel, atau file CSV.

Dalam sistem deteksi kecepatan kendaraan yang dirancang dalam tugas akhir ini, ThingSpeak digunakan sebagai media penyimpanan dan pemantauan data kecepatan secara real-time. Mikrokontroler ESP32, yang terhubung ke jaringan Wi-Fi, akan mengirimkan data kecepatan kendaraan yang diperoleh dari sensor radar mmWave ke channel ThingSpeak melalui metode HTTP POST menggunakan API Key. Setelah data diterima oleh server, pengguna dapat mengakses dashboard dari mana saja menggunakan laptop atau HP untuk melihat grafik kecepatan secara langsung.

ThingSpeak juga menyediakan visualisasi data secara otomatis dalam bentuk grafik time-series, sehingga pengguna tidak perlu membangun sistem tampilan data dari awal. Selain itu, platform ini memungkinkan pengguna untuk:

- Melihat riwayat data,
- Mengatur alarm atau trigger jika data melewati ambang batas tertentu,
- Melakukan analisis data menggunakan MATLAB script langsung di antarmuka ThingSpeak,
- Menyebarkan data ke platform lain seperti Twitter, IFTTT, atau server pribadi.

Keunggulan ThingSpeak dalam sistem ini adalah kemampuannya untuk memberikan pemantauan berbasis web dan mobile, sehingga pengguna tidak perlu berada di dekat perangkat untuk melihat informasi kecepatan kendaraan. Hal ini

menjadikannya sangat sesuai untuk aplikasi monitoring lalu lintas di jalan tol, di mana kecepatan kendaraan perlu diamati dari jarak jauh secara berkelanjutan.

Secara teknis, ESP32 dapat mengirimkan data ke ThingSpeak setiap beberapa detik sesuai dengan kebutuhan sistem. Untuk menghindari pembatasan pengiriman data oleh server (rate limit), ThingSpeak membatasi pengiriman data dari satu channel minimal setiap 15 detik untuk akun gratis. Pengaturan ini harus diperhitungkan dalam perancangan perangkat lunak agar tidak terjadi gagal kirim data (data rejected).

Dengan antarmuka yang ramah pengguna dan dokumentasi yang luas, ThingSpeak menjadi salah satu platform IoT yang paling banyak digunakan dalam proyek-proyek akademik, eksperimen laboratorium, dan sistem monitoring berbasis mikrokontroler seperti yang diimplementasikan dalam tugas akhir ini.

2.2.13 Platform Aplikasi Kecepatan Kendaraan



Gambar 2. 11 Aplikasi Kecepatan Kendaraan

Aplikasi smartphone Android merupakan sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk berjalan pada sistem operasi Android dan digunakan sebagai media untuk melakukan pemantauan atau monitoring terhadap sistem elektronik secara jarak jauh. Dalam konteks sistem deteksi kecepatan kendaraan berbasis sensor mmWave DFRobot C4001 dan mikrokontroler ESP32, aplikasi Android berperan penting sebagai antarmuka pengguna (user interface) yang mempermudah pengguna untuk melihat data hasil pengukuran kecepatan secara real-time maupun riwayat kecepatan kendaraan. Perangkat ini menjadi solusi monitoring yang efektif

karena bersifat portabel, praktis, dan dapat diakses kapan saja selama terdapat koneksi jaringan WiFi atau internet.

Sistem kerja aplikasi ini adalah dengan menerima data dari ESP32 melalui jaringan WiFi. ESP32 berfungsi sebagai otak dari sistem yang mengolah data hasil pembacaan dari sensor radar mmWave dan kemudian mengirimkan data tersebut secara bersamaan ke dua tujuan utama, yaitu server cloud seperti ThingSpeak untuk pencatatan data dan juga ke aplikasi Android untuk ditampilkan secara langsung. Aplikasi ini tidak menampilkan visualisasi data dalam bentuk grafik, melainkan menampilkan angka kecepatan kendaraan dalam satuan km/h dan daftar riwayat kecepatan terakhir yang tercatat pada waktu tertentu. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui kecepatan kendaraan yang terdeteksi secara real-time dan juga melakukan pengecekan terhadap data kecepatan yang telah tersimpan sebelumnya.

Koneksi antara ESP32 dan aplikasi Android dilakukan melalui protokol jaringan standar seperti HTTP (Hypertext Transfer Protocol), di mana ESP32 mengirimkan data dalam bentuk permintaan HTTP ke server atau endpoint yang kemudian dibaca oleh aplikasi. Aplikasi ini dapat dikembangkan dengan memanfaatkan platform pengembangan seperti MIT App Inventor, Kodular, atau Android Studio, tergantung pada kebutuhan dan tingkat kompleksitas aplikasi. Dalam implementasinya, aplikasi hanya memerlukan fungsionalitas dasar untuk menampilkan nilai kecepatan kendaraan dan waktu pencatatan, tanpa memerlukan fitur pemrosesan data yang kompleks seperti grafik, peta, atau visualisasi dinamis lainnya, sehingga aplikasi tetap ringan dan responsif.

Keuntungan dari penggunaan aplikasi Android sebagai media monitoring sangat signifikan, terutama dalam sistem monitoring lalu lintas jalan tol. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan informasi kecepatan kendaraan secara instan tanpa harus berada di lokasi alat, memberikan fleksibilitas dan efisiensi dalam pemantauan sistem. Selain itu, dengan tampilan yang sederhana namun informatif, pengguna tidak akan mengalami kesulitan dalam mengakses informasi yang diperlukan. Ditambah lagi, dengan adanya fitur riwayat data,

aplikasi memberikan gambaran umum mengenai kecepatan kendaraan selama periode waktu tertentu yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Dengan adanya integrasi antara sensor radar mmWave C4001, mikrokontroler ESP32, dan aplikasi Android, sistem deteksi kecepatan kendaraan menjadi lebih modern, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan era digital. Pengguna tidak hanya mendapatkan hasil deteksi secara langsung di LED dot matrix yang dikendalikan oleh Arduino Nano, tetapi juga dapat memantau dan merekam data tersebut melalui aplikasi pada smartphone. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi Internet of Things (IoT) telah diterapkan dengan baik dalam sistem ini, menghubungkan perangkat keras dengan perangkat lunak secara sinergis untuk tujuan pemantauan lalu lintas yang lebih efektif dan real-time.

2.2.14 Sistem Monitoring Real-Time

Sistem monitoring real-time adalah sistem pemantauan yang memungkinkan proses pengambilan, pengolahan, dan penyajian data dilakukan secara langsung saat data diperoleh dari sumbernya. Dalam sistem ini, data yang dihasilkan oleh sensor atau perangkat pemantau akan segera dikirim dan ditampilkan tanpa penundaan berarti, sehingga informasi yang disampaikan bersifat aktual, langsung, dan dapat digunakan secara seketika untuk pengambilan keputusan.

Konsep "real-time" dalam konteks monitoring berarti bahwa seluruh proses berjalan secara kontinu, mulai dari deteksi kondisi, pemrosesan data, hingga penyampaian informasi kepada pengguna, tanpa adanya jeda waktu yang signifikan. Hal ini sangat penting dalam berbagai aplikasi kritis seperti pemantauan industri, peringatan dini bencana, kesehatan, dan sistem transportasi, termasuk dalam proyek tugas akhir ini yaitu sistem deteksi kecepatan kendaraan di jalan tol.

Dalam sistem monitoring real-time berbasis mikrokontroler, umumnya terdiri dari beberapa komponen penting:

- Sensor sebagai perangkat input yang mendeteksi parameter fisik (misalnya kecepatan kendaraan),

- Mikrokontroler (seperti ESP32) yang bertugas memproses data dari sensor,
- Media tampilan lokal (seperti LED dot matrix) untuk menampilkan informasi secara langsung di tempat,
- Koneksi jaringan (misalnya Wi-Fi) untuk mengirimkan data ke server cloud,
- Platform monitoring (seperti ThingSpeak) yang menampilkan data secara online kepada pengguna.

Salah satu tantangan dalam sistem monitoring real-time adalah latensi, yaitu waktu tunda antara data diperoleh dan data ditampilkan. Dalam sistem ideal, latensi ini sangat kecil sehingga tidak mempengaruhi reaksi atau keputusan pengguna. Untuk itu, sistem harus dirancang agar proses pembacaan sensor, pemrosesan, dan pengiriman data dilakukan dengan efisien.

Dalam konteks tugas akhir ini, sistem monitoring real-time digunakan untuk mendeteksi kecepatan kendaraan secara langsung saat kendaraan melintas di depan sensor radar mmWave. Data kecepatan yang diperoleh dari sensor segera diproses oleh ESP32, lalu ditampilkan secara lokal melalui LED dot matrix, dan dikirim secara online ke platform ThingSpeak untuk pemantauan jarak jauh menggunakan HP atau komputer. Seluruh proses ini terjadi secara terus-menerus tanpa perlu intervensi manual.

Keunggulan sistem monitoring real-time adalah:

- Memberikan informasi langsung yang akurat,
- Meningkatkan respon waktu terhadap kondisi tertentu (misalnya kecepatan melebihi batas),
- Memungkinkan pengawasan jarak jauh secara efisien,
- Mendukung pengambilan keputusan cepat berbasis data aktual.

Dengan demikian, sistem monitoring real-time sangat relevan untuk diterapkan dalam pengawasan lalu lintas modern, terutama di jalan tol yang membutuhkan sistem pemantauan kecepatan kendaraan yang akurat dan responsif untuk mendukung keselamatan dan pengendalian lalu lintas.