

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sumber Tegangan Listrik Bolak Balik (AC)

Sumber tegangan listrik arus bolak-balik (AC - *Alternating Current*) merupakan salah satu jenis sumber energi listrik yang menghasilkan tegangan dan arus yang berubah-ubah secara periodik terhadap waktu, baik dalam besarnya maupun arah alirannya. Berbeda dengan arus searah (DC – *Direct Current*), arus AC digunakan secara luas dalam distribusi daya listrik karena kemampuannya untuk ditransformasikan dengan mudah ke level tegangan yang berbeda menggunakan transformator, sehingga efisien untuk transmisi jarak jauh.

Gelombang AC umumnya berbentuk sinusoidal, yang merupakan bentuk gelombang ideal karena efisiensi transmisinya tinggi dan kompatibel dengan kebanyakan peralatan listrik. Sumber utama dari tegangan AC adalah generator sinkron (alternator), yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik sebagaimana dijelaskan dalam hukum Faraday. Menurut Wildi (2006), dalam sistem tenaga listrik, generator sinkron digunakan pada pembangkit listrik untuk menghasilkan tegangan AC yang memiliki frekuensi standar, yaitu 50 Hz di sebagian besar dunia, termasuk Indonesia, atau 60 Hz di beberapa negara lain seperti Amerika Serikat.

Selain dari pembangkit listrik konvensional, tegangan AC juga dapat diperoleh dari inverter yang mengubah tegangan DC (misalnya dari panel surya atau baterai) menjadi AC. Hal ini banyak digunakan dalam sistem energi terbarukan dan sistem cadangan listrik (UPS). Inverter modern berbasis teknologi semikonduktor seperti MOSFET atau IGBT, dan menghasilkan gelombang AC dengan berbagai bentuk (sinusoidal murni, sinusoidal termodifikasi, atau gelombang kotak).

Perangkat elektronik rumah tangga, motor listrik, dan sebagian besar sistem distribusi listrik kota bekerja dengan sumber tegangan AC. Oleh karena itu, pemahaman tentang karakteristik, komponen, dan prinsip kerja sumber tegangan AC menjadi sangat penting dalam pengembangan tugas akhir yang berkaitan dengan sistem kelistrikan.

2.2 Sudut Fase Pada Tegangan (AC)

Sudut fase adalah parameter penting dalam sistem listrik arus bolak-balik (AC) yang menggambarkan perbedaan waktu atau posisi antara dua gelombang sinusoidal, misalnya antara tegangan dan arus. Dalam sistem AC, baik tegangan maupun arus umumnya berbentuk gelombang sinus, dan perbedaan waktu antara keduanya direpresentasikan dalam bentuk sudut fase (phase angle), biasanya diukur dalam derajat ($^{\circ}$) atau radian (rad).

$$v(t) = V_m \sin(\omega t + \phi)$$

di mana:

V_m = amplitude maksimum tegangan

ω = frekuensi sudut (rad/s)

t = waktu

ϕ = sudut fase

Dalam sistem tenaga, sudut fase antara tegangan dan arus memiliki pengaruh langsung terhadap faktor daya (power factor). Jika arus tertinggal (lagging) terhadap tegangan, maka sistem bersifat induktif (seperti pada motor), sedangkan jika arus mendahului (leading) maka sistem bersifat kapasitif (seperti pada kapasitor). Menurut Hambley (2011), sudut fase menjadi sangat penting dalam analisis daya karena mempengaruhi daya nyata (real power) dan daya reaktif (reactive power) dalam sistem AC. Dalam rangkaian listrik AC yang kompleks, pengukuran sudut fase memungkinkan optimasi efisiensi energi dan kontrol beban listrik. Penggunaan alat ukur seperti phasor diagrams dan oscilloscope dapat membantu memahami pergeseran fasa antara arus dan tegangan. Selain itu, dalam sistem tenaga modern, penggunaan teknologi phasor measurement unit (PMU) memungkinkan pengukuran sudut fase secara real-time untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi daya.

2.3 Mikrokontroler ATmega328P

ATmega328P adalah salah satu mikrokontroler 8-bit berbasis arsitektur AVR RISC (Reduced Instruction Set Computing) yang diproduksi oleh Microchip Technology (sebelumnya Atmel). Mikrokontroler ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi sistem embedded dan merupakan inti dari papan pengembang populer seperti Arduino Uno.

ATmega328P memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- CPU 8-bit AVR RISC
- Kecepatan hingga 20 MHz

- Memori Flash sebesar 32 KB
- SRAM sebesar 2 KB
- EEPROM sebesar 1 KB
- 23 pin I/O digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai PWM)
- 6 channel input ADC 10-bit
- Peripherals: Timers, Serial USART, SPI, I²C, Watchdog Timer, dan fitur-fitur interrupt.



Gambar 2 1Mikrokontroler ATmega328P

2.4 Fungsi Interrupt pada ATmega328P

Interrupt adalah suatu mekanisme dalam mikrokontroler untuk menangani peristiwa atau kondisi tertentu secara asinkron—artinya, tanpa harus terus-menerus melakukan pengecekan kondisi (polling). Saat suatu kondisi atau peristiwa terjadi (misalnya tombol ditekan, sinyal eksternal masuk, atau overflow timer), prosesor akan menghentikan sementara eksekusi utama (main loop), menjalankan fungsi penanganan interrupt (Interrupt Service Routine / ISR), lalu kembali ke eksekusi sebelumnya.

ATmega328P mendukung beberapa sumber interrupt, antara lain:

- External Interrupt: INT0 dan INT1 (pin digital 2 dan 3)
- Pin Change Interrupt: Bisa dipicu dari perubahan logika pada port tertentu
- Timer Interrupt: Timer0, Timer1, dan Timer2 dapat menghasilkan interrupt untuk overflow atau compare match
- ADC Interrupt: Sinyal dari sensor analog setelah proses konversi ADC
- USART, SPI, dan I2C Interrupt: Untuk komunikasi data secara efisien

Interrupt membantu meningkatkan efisiensi program karena mikrokontroler dapat fokus menjalankan tugas utama dan hanya bereaksi saat peristiwa penting terjadi. Dalam sistem real-time atau sistem kendali otomatis, penggunaan interrupt adalah kunci untuk respons cepat dan tepat waktu.

2.5 Lampu LED

LED (Light Emitting Diode) adalah suatu komponen semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya ketika diberikan tegangan maju. LED bekerja berdasarkan prinsip elektroluminesensi, yaitu fenomena di mana suatu bahan semikonduktor mengeluarkan cahaya saat elektron dan hole (lubang) bertemu dan berrekombinasi di dalam bahan semikonduktor tersebut. Bahan dasar pembuatan LED biasanya berupa semikonduktor tipe III-V seperti Gallium Arsenide (GaAs), Gallium Phosphide (GaP), atau Gallium Nitride (GaN), yang masing-masing dapat menghasilkan warna cahaya berbeda tergantung pada material dan teknik doping-nya.



Gambar 2 2 Lampu LED

LED memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sumber cahaya konvensional (seperti lampu pijar dan lampu neon), antara lain:

- Konsumsi daya rendah
- Umur pakai panjang (bisa mencapai >50.000 jam)
- Ukuran kecil dan fleksibel untuk berbagai aplikasi
- Emisi panas sangat rendah
- Cepat menyala (response time sangat cepat)

Menurut Rajput (2007), efisiensi LED terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi semikonduktor, sehingga sangat cocok untuk berbagai aplikasi elektronik maupun sistem pencahayaan modern. Lampu LED banyak digunakan dalam berbagai sistem seperti:

- Indikator status pada perangkat elektronik
- Tampilan digital (7-segment, dot matrix)
- Sistem penerangan (rumah tangga, jalan raya, otomotif)
- Komunikasi optik (misalnya remote control inframerah)
- Sistem otomasi berbasis mikrokontroler (misalnya lampu indikator otomatis, sistem monitoring)

Dalam sistem berbasis mikrokontroler seperti ATmega328P atau Arduino, LED sering digunakan sebagai media output untuk menampilkan status logika, hasil pemrosesan, atau sebagai bagian dari antarmuka pengguna (user interface). Pengendalian LED dapat dilakukan dengan dua metode yaitu langsung menggunakan pin digital mikrokontroler (HIGH/LOW) dan PWM (Pulse Width Modulation): untuk mengatur tingkat kecerahan (brightness)

2.6 Metode Scanning Output Mikrokontroler

2.6.1 Pengertian Metode Scanning Output

Metode scanning output atau pemindaian keluaran pada mikrokontroler adalah teknik pemrosesan data digital di mana mikrokontroler secara bergiliran mengaktifkan sejumlah output (misalnya port atau pin) dalam waktu yang sangat singkat dan berulang untuk mengontrol atau membaca banyak perangkat secara efisien. Metode ini sangat umum digunakan dalam aplikasi seperti kendali LED matriks, keypad, display 7-segment multipelks, dan sistem monitoring. Dalam sistem scanning, keluaran dikendalikan secara multiplexing, yang memungkinkan satu mikrokontroler dengan jumlah pin terbatas dapat mengelola banyak perangkat. Proses scanning terjadi sangat cepat sehingga bagi manusia tampak seperti semua output aktif secara bersamaan (karena fenomena persistensi penglihatan).

2.6.2 Prinsip Kerja Scanning Output

Secara umum, metode scanning output bekerja melalui langkah-langkah berikut:

- Mikrokontroler mengaktifkan satu jalur output (misalnya satu kolom pada LED matrix).
- Mengirimkan atau membaca data dari baris terkait.
- Menonaktifkan jalur tersebut dan berpindah ke jalur berikutnya.
- Proses diulangi secara terus-menerus dengan kecepatan tinggi.

Metode ini memerlukan delay timing atau pengaturan kecepatan scanning agar tidak terlalu cepat (sehingga data tidak terbaca), dan tidak terlalu lambat (sehingga tampilan menjadi berkedip).

2.6.3. Keuntungan dan Aplikasi

Beberapa keuntungan dari metode scanning output antara lain:

- Hemat pin mikrokontroler (efisiensi perangkat keras).
- Hemat daya karena hanya satu bagian aktif dalam satu waktu.
- Fleksibel untuk sistem dinamis (misalnya tampilan atau input yang berubah-ubah).
- Aplikasi umum meliputi:

- Display LED matrix 8x8 atau lebih
- Keypad 4x4
- Multiplexing display 7-segment
- Kontrol relay atau motor berganda

Menurut Khan et al. (2017), metode scanning sangat efektif untuk aplikasi yang melibatkan input dan output paralel dalam jumlah besar namun dengan keterbatasan I/O pin mikrokontroler.