

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sistem pengendalian suhu pada kandang anak ayam menggunakan mikrokontroler arduino nano berbasis PID merupakan inovasi di bidang peternakan yang bertujuan untuk menciptakan lingkungan ternak yang nyaman dan mendukung peningkatan produktivitas anak ayam broiler. Sistem ini dikembangkan dan dirancang dengan memanfaatkan metode kendali *Proportional Integral Derivatif* (PID), penggunaan sensor dan aktuator dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler arduino nano tanpa dukungan teknologi *Internet of Things* (IoT). Fokus utama sistem ini adalah menjaga suhu dalam kandang ayam tetap stabil pada kisaran yang sesuai, dengan membaca kondisi lingkungan secara langsung dan menyesuaikan daya aktuator berdasarkan keluaran dari penghitungan PID. Sebelum mengembangkan lebih jauh kerangka penelitian ini, penting untuk memahami konteks dan landasan teori yang telah dibangun oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Hal ini tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi celah dalam pengetahuan yang ada, tapi juga dalam menentukan arah yang harus diambil oleh penelitian ini.

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bagas Gerry Caesario , Eko Setiawan , Rakhmadhany Primananda pada Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer dengan judul “Sistem Pengendalian Suhu pada Kandang Ayam Broiler menggunakan PID *Controller*” dijelaskan pada jurnal ini mengimplementasikan algoritma kendali PID untuk mengatur suhu di kandang ayam broiler. Sensor suhu digunakan untuk mendeteksi kondisi aktual, yang kemudian diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno berguna mengatur kinerja alat pemanas (heater). Parameter PID disesuaikan untuk meminimalkan kesalahan terhadap suhu yang telah ditentukan (set point). Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode kendali PID mampu menjaga suhu tetap stabil dengan lebih baik dibandingkan metode *on-off*, serta secara signifikan mengurangi fluktuasi suhu dalam kandang. [2]
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Roni Aspari, Lalu Delsi Samsumar, Emi Suryadi, Ardiyallah Akbar, Zaenudin pada *Journal of Computer Science*

and Information Technology (JCSIT) dengan judul “Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Kandang Ayam Broiler Berbasis *Internet Of Things* Untuk Meningkatkan Produksi” Jurnal ini mengkaji pengembangan sistem pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time di kandang ayam dengan menggunakan platform IoT. Sensor DHT22 dimanfaatkan sebagai alat ukur suhu dan kelembapan yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU Esp8266. Data hasil pengukuran dikirimkan ke cloud dan dapat dipantau melalui antarmuka web maupun gawai pintar. Meskipun sistem ini belum menerapkan kendali otomatis, informasi yang dihasilkan cukup akurat dan berguna bagi peternak dalam mengambil keputusan. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemantauan kondisi lingkungan kandang dalam upaya meningkatkan produktivitas ayam broiler. [3]

3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yogi Isro Mukti, Fitria Rahmadayanti, Diti Tri Utami pada *J-COSINE (Journal of Computer Science and Informatics Engineering)* dengan judul “*Smart Monitoring Berbasis Internet of Things (IoT) Suhu dan Kelembapan pada Kandang Ayam Broiler*” dijelaskan bahwa penelitian ini merancang sistem pemantauan suhu dan kelembapan kandang ayam broiler berbasis IoT dengan menggunakan sensor DHT11 dan mikrokontroler NodeMCU Esp8266. Data ditampilkan secara real-time kepada pengguna melalui perangkat mobile dengan menggunakan platform Blynk. Walaupun sistem ini belum dilengkapi dengan fitur pengendalian otomatis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT dapat memberikan kemudahan dalam memantau kondisi lingkungan kandang secara efisien, serta menjadi dasar untuk pengembangan sistem kendali otomatis di masa mendatang. [4]

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Faktor Suhu

Ketika suhu pada kandang ayam terlalu panas, maka ayam akan mengalami stres sehingga ayam akan lebih banyak minum daripada makan dan ketika suhu pada kandang ayam terlalu dingin, maka pertumbuhan pada ayam broiler ini akan terhambat dan ayam bisa mati. [4]

Selama ini, peternak ayam broiler umumnya masih memeriksa suhu kandang secara manual, yakni dengan meraba menggunakan tubuh sendiri, metode tersebut tidak mampu memberikan data suhu yang akurat. Padahal, kestabilan suhu merupakan faktor penting yang harus dijaga agar mendukung pertumbuhan ayam secara optimal dan mencegah stres panas yang dapat menurunkan produktivitas. Suhu ideal kandang berbeda-beda tergantung pada fase umur ayam. Apabila suhu tidak dikontrol sesuai kebutuhan masing-masing fase, ayam dapat mengalami kedinginan, stres, hingga rentan terserang penyakit. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengaturan suhu yang tepat agar lingkungan kandang tetap optimal.

Kandang yang hangat dan terkontrol dapat merangsang metabolisme tubuh ayam dengan baik, sehingga mendukung pertumbuhan yang cepat dan menjaga kesehatan ayam secara keseluruhan. Untuk itu memerlukan pengaturan suhu ideal ruangan yang tepat pada budidaya ayam broiler. Berikut pada Table 2- 1 adalah suhu ideal kandang tergantung fase umur ayam.

Tabel 2- 1 Pengaturan Suhu Ideal Ayam

Umur Ayam	Suhu Ideal
1 – 7 hari	35 °C
8 – 15 hari	32,2 °C
16 – 23 hari	29,44 °C
24 – 30 hari	26,6 °C

Pengontrolan suhu ayam yang teratur merupakan salah satu proses pemeliharaan untuk menghasilkan produksi ayam yang baik. Dengan demikian, suhu kandang ayam harus terkontrol sebaik mungkin agar suhu ayam tetap stabil meski cuaca sedang hujan. [5]

Angka-angka dari suhu ideal ini diambil dari berbagai studi tentang pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan kesehatan unggas, yang secara konsisten menunjukkan bahwa suhu di bawah 26,6 °C pada fase akhir meminimalkan risiko penyakit terkait suhu tinggi, sementara suhu di atas 35 °C pada fase awal diperlukan agar anak ayam tidak kehilangan panas terlalu cepat.

2.2.2 Sistem Kontrol PID

Sistem kendali proportional integral and derivative (PID) merupakan salah satu ilmu kontrol yang telah banyak digunakan karena keandalannya dalam menyetabilkan suatu sistem. Dalam menstabilkan sistemnya kendali PID memerlukan error yang didapat kemudian merubahnya mejadi respon sistem hingga sistem tersebut dapat stabil secara otomatis. [6]

Sistem ini terdiri dari tiga metode pengaturan, yaitu Kontrol *Proportional* (P), *Integral* (I), dan *Derivatif* (D), di mana masing-masing memiliki keunggulan dan kelemahan tersendiri. Dalam praktiknya, ketiga metode ini dapat digunakan secara terpisah maupun dikombinasikan. Perancangan sistem kendali PID melibatkan penyesuaian parameter P, I, dan D agar respons keluaran sistem terhadap sinyal masukan dapat sesuai dengan yang diharapkan.

a. Proportional (P)

Parameter *proportional* membantu mempercepat respons sistem dengan menurunkan konstanta waktu sistem tertutup, namun tidak mengubah tingkat kompleksitas sistem karena outputnya tetap sebanding dengan input. Meskipun dapat mengurangi error pada keadaan tunak, parameter ini tidak mampu menghilangkannya sepenuhnya. [7] Fungsi utamanya adalah mendeteksi besar error dan memberikan sinyal koreksi yang sebanding dengan nilai error tersebut. Secara proportional dilambangkan dengan persamaan:

$$P_{out} = Kp e \quad (2.1)$$

Dimana:

P_{out} = bagian *proportional* dari keluaran pengontrol.

Kp = keuntungan *proportional*

e = *error*

b. Integral (I)

Parameter *integral* menghilangkan offset dengan meningkatkan orde sistem sebanyak satu tingkat. Meskipun mempercepat respons sistem, hal ini sering menyebabkan osilasi yang terus-menerus. Fungsi *integral* dalam kontrol PID

bertujuan mengatasi keterbatasan kontrol proportional dengan mengevaluasi akumulasi eror dari waktu ke waktu dan menyesuaikannya secara bertahap. [7] Penyesuaian ini diukur menggunakan *reset rate*, yaitu parameter berbasis waktu yang menunjukkan seberapa cepat koreksi integral dilakukan.

$$I_{out} = \frac{1}{T_i} \int e \cdot dt = K_I \int e \cdot dt \quad (2.2)$$

Dimana:

I_{out} = bagian *integral* dari keluaran pengontrol

T_i = waktu reset atau waktu *integral*

K_I = keuntungan *integral*

e = *error*

c. Derivatif

Pengaturan *derivatif* berfungsi untuk meredam osilasi pada sistem, tanpa memengaruhi offset maupun tingkat kompleksitas (orde) sistem. Komponen ini bekerja dengan menganalisis kecepatan perubahan error, sehingga menghasilkan respons yang kuat terhadap perubahan mendadak. [7] Namun, jika nilainya terlalu tinggi, justru bisa menyebabkan kontrol menjadi tidak stabil atau menghasilkan *overshoot* yang berlebihan. Hal ini dilambangkan dengan persamaan:

$$D_{out} = T_d \frac{d}{dt} e = K_D \frac{d}{dt} e \quad (2.3)$$

Dimana:

D_{out} = bagian *derivatif* dari keluaran pengontrol

T_d = waktu *derivatif*

K_D = keuntungan *derivatif*

e = *error*

Elemen-elemen kontroller P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan agar mempercepat reaksi sebuah *system*, menghilangkan *error* atau *offset* dan memberikan respon awal atau hasil yang cepat. Pada kontrol PID disebut

demikian karena *output* pengendalinya dijumlahkan menjadi tiga parameter, term proposional, integral, dan derivative digabung dan dihitung bersama untuk menghasilkan luaran akhir dari kontroler PID. Ketiga parameter ini pada error (e), yaitu selisih antara parameter input dan output. Penyetelan yang tepat terhadap parameter parameter tersebut akan menghasilkan reaksi dinamis suatu sistem, mengurangi *overshoot*, menghilangkan kesalahan (*steady-state*), dan meningkatkan kestabilan proses. [7] Hubungan ini dijelaskan dengan persamaan rumus output kontroler PID di bawah ini:

$$output = K_P \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2.4)$$

Dimana K_P , K_I , dan K_D masing-masing adalah parameter dari P, I, dan D.

Parameter K_I dan K_D dapat juga representasikan dalam persamaan di bawah ini:

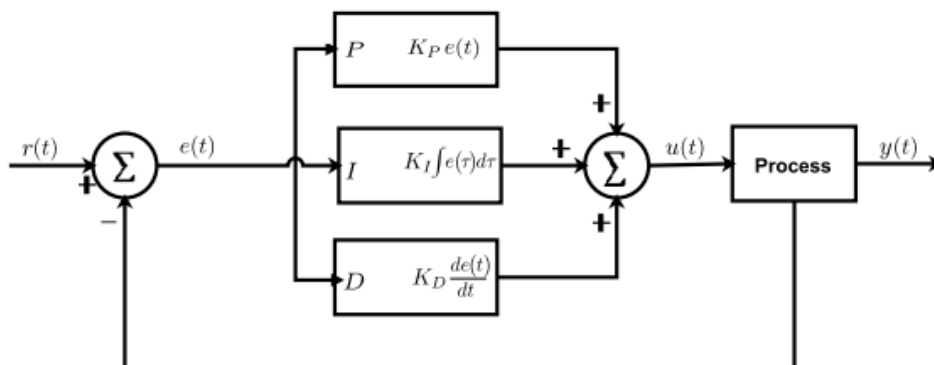
$$K_I = K_P \frac{1}{T_i}, K_D = K_P \cdot T_d \quad (2.5)$$

Dimana:

T_i = waktu reset

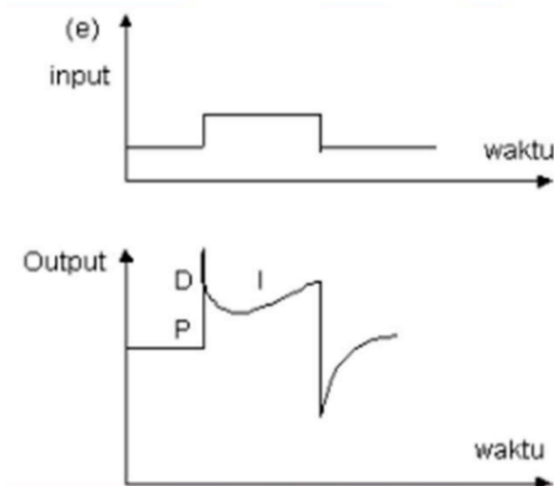
T_d = waktu yang ditentukan

Keluaran kontroller PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proportional, keluaran kontroler integral. Gambar 2.1 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2. 1 Stuktur sistem kontrol PID

Keluaran controller PID menciptakan jumlahan dari keluaran kontroler proportional, keluaran kontroler integral. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan tersebut.



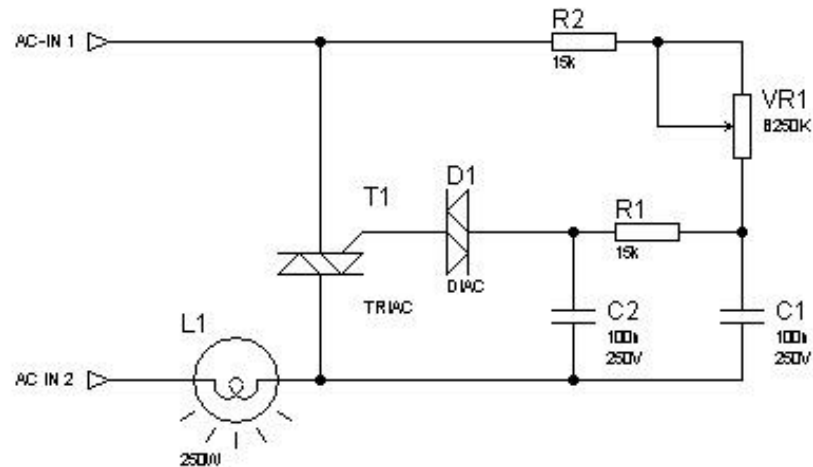
Gambar 2. 2 Kurva antara sinyal output dengan input controller PID

Karakteristik dari kontroler PID sangat bergantung pada seberapa besar kontribusi dari masing-masing komponen P, I, dan D. Penyesuaian nilai konstanta K_p (proportional), T_i (integral), dan T_d (derivatif) akan memunculkan pengaruh dominan dari elemen tertentu. Salah satu atau dua konstanta dapat disetel lebih besar dari yang lain, dan komponen yang paling dominan tersebut akan memberikan pengaruh terbesar terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. [8]

2.2.3 Dimmer AC

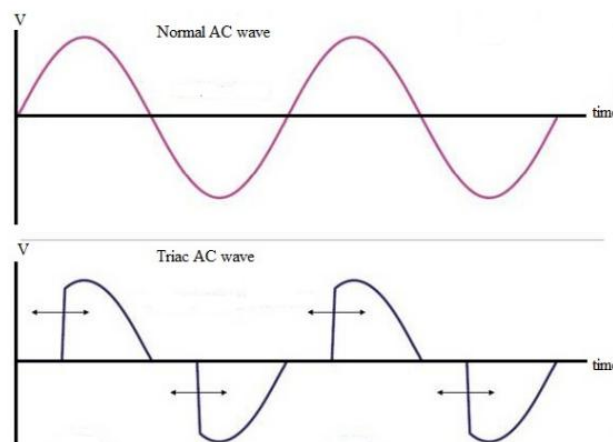
Dimmer merupakan suatu rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengatur besaran tegangan serta bentuk gelombang listrik arus bolak-balik (AC). Perangkat ini biasanya terdiri atas sejumlah komponen utama seperti resistor, kapasitor, potensiometer, serta komponen semikonduktor antara lain DIAC (*Diode for Alternating Current*) dan TRIAC (*Triode for Alternating Current*). Dalam sistem kerja dimmer, DIAC dan TRIAC memegang peran penting sebagai komponen pengendali bentuk sinyal AC. TRIAC adalah semikonduktor dengan tiga terminal, yaitu Main Terminal 1 (MT1), Main Terminal 2 (MT2), dan Gate, yang memungkinkan pengaliran arus dua arah ketika diberikan pemicu pada terminal

Gate-nya. Sementara itu, DIAC merupakan komponen semikonduktor dua terminal (MT1 dan MT2) yang bersifat simetris dan berfungsi sebagai pemicu tegangan untuk mengaktifkan TRIAC ketika tegangan melampaui ambang tertentu. [9]



Gambar 2. 3 Rangkaian Dimmer

Gambar 2.3 merupakan cara kerja dimmer AC dimulai dengan pembatasan aliran arus masuk melalui resistor dan potensiometer. Proses ini memperlambat pengisian kapasitor. Setelah kapasitor terisi hingga mencapai tegangan tertentu, muatan pada kapasitor akan diteruskan ke DIAC. Jika tegangan pada DIAC telah melewati batas minimum kerja, DIAC akan menghantarkan arus menuju Gate TRIAC, sehingga TRIAC aktif dan memungkinkan arus utama mengalir ke beban. [9]



Gambar 2. 4 Pengaruh TRIAC terhadap sinyal AC

Gambar 2.4 memperlihatkan bentuk gelombang sinyal arus bolak-balik (AC) pada kondisi normal akan tampak utuh dan simetris. Namun, setelah dipengaruhi oleh kerja TRIAC, sebagian dari gelombang tersebut akan terpotongkas. Pemotongan ini terjadi karena waktu konduksi atau durasi aktifnya TRIAC dikendalikan sedemikian rupa, sehingga hanya sebagian siklus gelombang AC yang dialirkan ke beban.

2.2.4 Mikrontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah komputer kecil (*special purpose computers*) di dalam satu IC yang berisi CPU, memori, timer, saluran komunikasi serial dan paralel, *port input/output*, dan ADC. Perangkat ini terdiri dari beberapa komponen utama yang membentuk suatu sistem dimana komponen itu terdiri dari CPU, RAM, ROM, *Serial Port*, *Timer*, *Counter*, *Port Input/Output*, *Special Functioning Block*, *Interrupt Control*, *Analog to Digital Converter*, *Digital to Analog Converter*. Mikrokontroler bekerja dengan cara menerima, memproses, dan menghasilkan data atau sinyal yang akan digunakan untuk mengendalikan perangkat lain. [10]

2.2.4.1 Arduino Nano

Arduino merupakan platform elektronik berbasis *open source* yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam merancang dan membangun perangkat elektronik. Dengan antarmuka pemrograman yang sederhana dan mudah digunakan, Arduino sangat cocok bagi pemula maupun profesional di bidang elektronika. Selain itu, dukungan komunitas yang luas serta ketersediaan berbagai modul dan sensor yang kompatibel menjadikannya solusi fleksibel untuk berbagai proyek seperti otomasi rumah, robotika, seni interaktif, dan lain-lain.

Secara teknis, Arduino menggunakan mikrokontroler seperti ATmega328P pada Arduino Nano dan ARM Cortex-M pada varian lainnya. Board ini dilengkapi dengan pin I/O digital dan analog, antarmuka komunikasi (UART, SPI, I2C), serta port USB untuk pemrograman dan transfer data. Arduino juga didukung oleh Arduino IDE yang berbasis C/C++ serta berbagai pustaka dan komunitas aktif,

menjadikannya populer dalam pengembangan sistem otomatisasi dan *Internet of Things* (IoT).

Arduino Nano adalah varian papan mikrokontroler berukuran kecil yang dirancang untuk penggunaan praktis, terutama pada breadboard. Papan ini menggunakan mikrokontroler ATmega328 atau ATmega16, dan menawarkan performa setara dengan Arduino Duemilanove. Berbeda dari papan Arduino lainnya yang menggunakan konektor barrel jack, Arduino Nano terhubung ke komputer melalui port USB Mini-B. Arduino Nano awalnya dikembangkan oleh perusahaan Gravitech, dan tetap menjadi pilihan populer karena bentuknya yang ringkas namun fungsional [10].

2.2.4.2 Arduino IDE

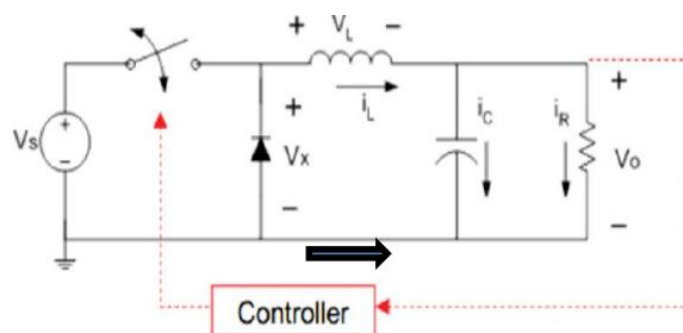
Perancangan perangkat lunak dalam tugas akhir ini sepenuhnya menggunakan Arduino IDE (Integrated Development Environment), yaitu perangkat lunak bawaan resmi dari Arduino. Melalui Arduino IDE, seluruh proses pengendalian input dan output pada sistem otomatisasi aquascape dapat dilakukan secara terintegrasi. Perangkat lunak ini juga memungkinkan pengguna untuk melakukan proses kompilasi dan unggah (upload) program ke dalam mikrokontroler Arduino. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam penulisan kode adalah bahasa C. Untuk menjalin komunikasi antara sistem dan pengguna, digunakan tombol sebagai input untuk mengatur sistem kontrol otomatis pada aquascape. Hasil dari pengaturan tersebut kemudian ditampilkan melalui layar LCD [11]. Pada Gambar 2.5 ini adalah Arduino IDE dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 2. 5 Bentuk fisik dari software Arduino IDE

2.2.5 Buck Converter

Buck Converter adalah jenis konverter DC ke DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan searah (DC) dari nilai yang lebih tinggi menjadi nilai yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan. Tegangan masukan untuk konverter ini umumnya berasal dari sumber seperti power supply atau baterai. Rangkaian elektronika daya ini dirancang untuk mengatur besar tegangan keluaran agar sesuai dengan spesifikasi atau keperluan sistem yang digunakan [12]. *Buck Converter* bekerja dengan cara mengatur nyala dan mati sakelar secara cepat dan berulang, menggunakan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*). Ketika sakelar menyala arus dari sumber mengalir ke beban dan mengisi induktor, saat sakelar mati arus dari induktor tetap mengalir ke beban melalui diode. Dengan mengubah lama waktu sakelar menyala dalam setiap siklus, tegangan keluaran bisa dibuat lebih kecil dari tegangan masuk.



Gambar 2. 6 Topologi Rangkaian Buck Converter

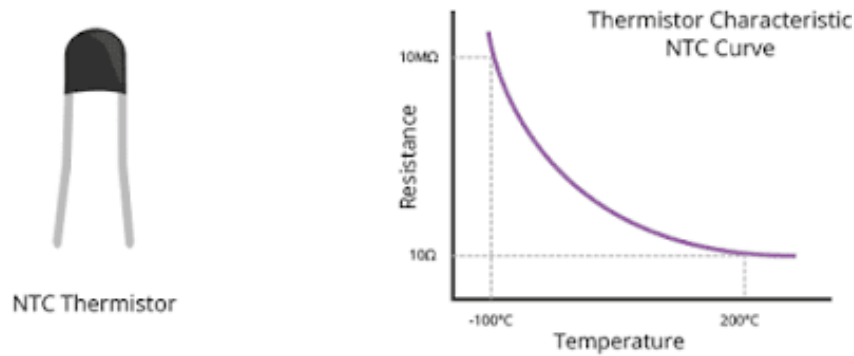
Gambar 2.6 menunjukkan tentang prinsip kerja konversi tegangan DC dengan mekanisme kontrol umpan balik. Saklar dikendalikan oleh PWM mikrokontroler, dan pengaturan duty cycle dilakukan berdasarkan pembacaan tegangan output. Induktor dan kapasitor berperan dalam menyaring dan menstabilkan tegangan agar sesuai dengan nilai yang dibutuhkan bagi beban. Sistem ini bekerja secara efisien untuk menurunkan tegangan input menjadi tegangan output yang lebih rendah dan stabil [12]. Pada konverter DC ke DC memiliki 2 jenis konduksi yaitu :

- a. *Continuous Conduction Mode* (CCM) dimana arus induktor akan selalu positif sepanjang periode pensaklaran atau *switching*.
- b. *Discontinus Conduction Mode* (DCM) dimana arus induktor akan bernilai nol atau pengosongan untuk beberapa saat, saat periode *switching*.

2.2.6 Sensor Suhu

Sensor suhu merupakan suatu penginderaan suhu yang mampu memberikan petunjuk jika ada perubahan temperatur atau Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya [13]. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip perubahan karakteristik fisik suatu bahan terhadap suhu, seperti resistansi, tegangan termoelektrik, atau bahkan output digital yang telah dikalibrasi. Dengan kata lain, sensor suhu merupakan pengindera suhu yang mengubah besaran panas menjadi besaran listrik sehingga dapat dengan mudah dianalisis dan dimanfaatkan oleh sistem elektronik secara otomatis.

Dalam hal ini, sensor suhu memiliki fungsi esensial dalam sistem otomasi, terutama pada sektor industri, karena berperan sebagai penghubung utama dalam mendeteksi kondisi lingkungan. Informasi suhu yang diperoleh oleh sensor kemudian diolah oleh sistem kendali untuk menjaga kestabilan proses kerja. Salah satu jenis sensor suhu yang banyak digunakan adalah Thermistor, yaitu resistor yang nilai hambatannya berubah terhadap perubahan suhu. Terdapat dua jenis thermistor, yaitu NTC (*Negative Temperature Coefficient*) dan PTC (*Positive Temperature Coefficient*). Pada NTC Thermistor, resistansi akan menurun seiring peningkatan suhu, sesuai dengan karakteristik bahan semikonduktif yang digunakan.



Gambar 2. 7 NTC Thermistor

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7, thermistor NTC biasanya dibuat dari bahan keramik atau polimer yang disinter, sehingga mampu menghasilkan perubahan resistansi yang cukup signifikan walau dengan perubahan suhu kecil. Hal ini menjadikan NTC Thermistor sangat sensitif terhadap fluktuasi suhu dan ideal digunakan dalam aplikasi pengukuran suhu yang memerlukan respons cepat serta keakuratan tinggi dalam rentang suhu tertentu. Prinsip kerja thermistor NTC sendiri didasarkan pada perubahan struktur energi dalam bahan semikonduktor akibat peningkatan suhu, yang menyebabkan bertambahnya pembawa muatan bebas dan menurunnya hambatan listrik. Dengan demikian, semakin tinggi suhu lingkungan, maka hambatan yang terbaca akan semakin rendah.

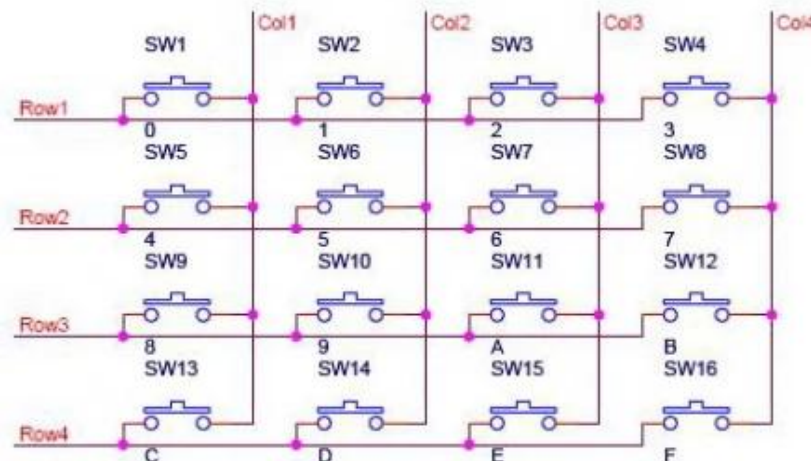
2.2.7 Matrix Keypad

Keypad merupakan salah satu komponen yang umum digunakan dalam perangkat berbasis mikroprosesor atau mikrokontroler. Alat ini memiliki peran penting dalam sistem elektronik yang memerlukan interaksi langsung dengan pengguna. Fungsinya adalah sebagai antarmuka (*interface*) antara manusia dan mesin, atau dikenal dengan istilah HMI (*Human Machine Interface*). [14]

Dengan susunan tombol yang fleksibel, Keypad 4x4 memungkinkan pengguna untuk memberikan perintah, seperti memasukkan nilai setpoint suhu, mengatur mode kerja, atau memberikan input lain dalam sistem otomatis. Keypad ini bekerja pada tegangan rendah (3.3–5V), ringan dalam pengolahan, dan sangat cocok digunakan pada sistem monitoring maupun kontrol berbasis digital.

Konstruksi matrix keypad 4x4 pada gambar 2.4 cukup sederhana, yaitu terdiri atas empat baris dan empat kolom yang membentuk susunan saklar push button di

setiap titik pertemuan antara baris dan kolom. Delapan jalur (line) yang mewakili keempat baris dan keempat kolom tersebut terhubung ke port mikrokontroler 8-bit. Bagian baris pada keypad diberi label Row1 hingga Row4, sementara bagian kolom diberi label Col1 hingga Col4. Arah input dan output pada keypad ini bersifat fleksibel, sehingga pengguna bebas mengatur apakah kolom berperan sebagai input dan baris sebagai output, atau sebaliknya.



Gambar 2. 8 Konfigurasi Matrix Keypad 4x4

2.2.8 Media Tampil / LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan modul tampilan digital yang digunakan untuk menyajikan informasi dalam bentuk karakter alfanumerik, seperti teks atau angka. LCD merupakan perangkat tampilan yang tersusun dari lapisan bahan organik yang ditempatkan di antara dua kaca bening, masing-masing dilengkapi dengan elektroda transparan berbahan indium oksida. Struktur ini membentuk sistem berlapis, di mana elektroda belakang dan depan dipisahkan oleh lapisan cairan kristal. Ketika diberikan tegangan listrik, molekul-molekul dalam lapisan tersebut mengalami perubahan orientasi. Sistem ini dilengkapi dengan polarizer cahaya vertikal di bagian depan dan polarizer horizontal di bagian belakang, serta reflektor [15]. Cahaya yang dipantulkan akan terhambat melewati bagian-bagian yang diaktifkan, sehingga segmen tampilan yang aktif akan tampak gelap dan membentuk karakter atau informasi visual yang diinginkan.

I2C atau Inter-Integrated Circuit adalah protokol komunikasi serial dua arah yang menggunakan dua jalur utama, yaitu SCL (Serial Clock Line) dan SDA (Serial

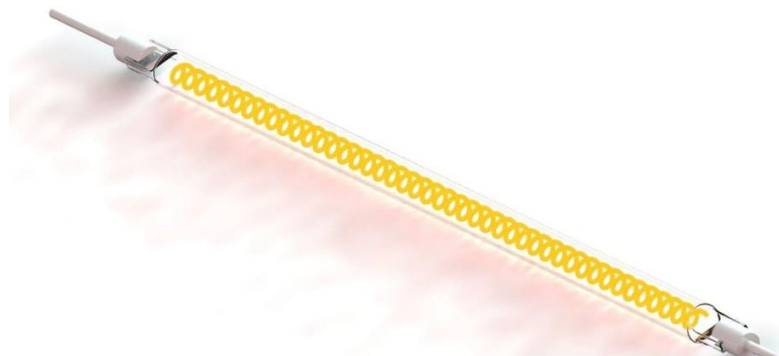
Data Line). Jalur ini berfungsi untuk mengirim dan menerima data antara perangkat I2C dengan pengendali sistem. Dalam jaringan I2C, perangkat dapat berperan sebagai *master* atau *slave*. Master bertugas memulai proses komunikasi dengan menghasilkan sinyal *start*, menghentikan komunikasi dengan sinyal *stop*, dan mengatur denyut waktu. Sementara itu, *slave* merupakan perangkat yang akan merespons instruksi dari master berdasarkan alamat yang diberikan. [15]

2.2.9 Pemanas Heater

Pemanas udara adalah jenis elemen pemanas yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses pemanasan *Joule*, di mana arus listrik yang mengalir melalui material penghantar atau elemen pemanas yang akan menghasilkan panas karena adanya hambatan listrik [16].

$$Q = I^2 \times R \times t \quad (2.6)$$

Dimana Q mewakili kalor, I adalah arus, R adalah resistansi, dan t adalah waktu.



Gambar 2. 9 Elemen Pemanas

Material yang digunakan biasanya berupa logam tahan panas seperti nikel-krom (NiCr), yang dibentuk menjadi elemen pemanas koil atau *coil heater* seperti Gambar 2.9. Ketika arus mengalir, resistansi pada koil menyebabkan peningkatan suhu, yang kemudian memanaskan udara atau medium di sekitarnya.

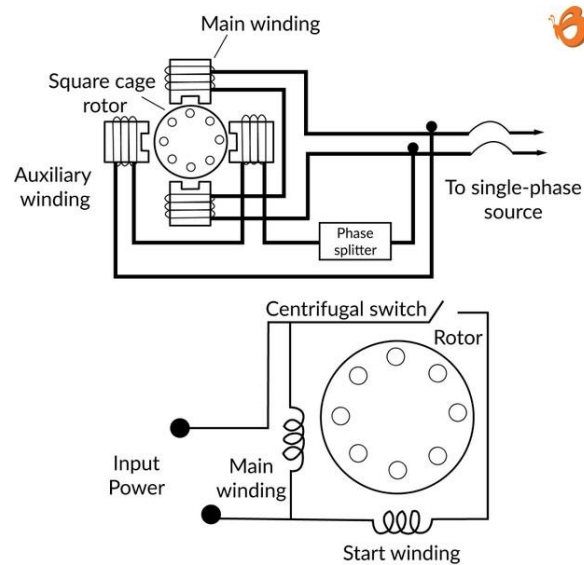
Dalam aplikasinya, heater beroperasi dengan prinsip konduksi, di mana panas dihasilkan secara langsung dari elemen pemanas dan disalurkan ke lingkungan sekitar. Pemanas tipe ini memiliki karakteristik utama yakni peningkatan resistansi

seiring kenaikan suhu, yang membuatnya otomatis membatasi suhu maksimumnya tanpa memerlukan kontrol eksternal yang kompleks. [17] Ini menjadikannya ideal untuk aplikasi pemanas ruangan atau sistem kecil yang membutuhkan kestabilan suhu.

2.2.10 Motor pada Kipas

Motor induksi satu fasa merupakan salah satu jenis motor listrik arus bolak-balik (AC) yang banyak digunakan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, exhaust fan, dan pompa air kecil. Motor ini bekerja dengan memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus bolak-balik yang mengalir melalui lilitan stator menghasilkan medan magnet berputar yang mendorong rotor untuk ikut berputar. Motor yang digunakan untuk menggerakkan kipas angin umumnya adalah jenis motor induksi satu fasa seperti *split-phase* motor atau *capacitor start* motor. Motor ini dilengkapi dua jenis lilitan, yaitu lilitan utama dan lilitan bantu, yang berfungsi menciptakan perbedaan sudut fasa pada arus listrik, sehingga terbentuk medan magnet berputar semu yang diperlukan untuk memutar putaran rotor.

Saat motor pertama kali dinyalakan, arus listrik akan mengalir melalui lilitan utama dan lilitan bantu secara bersamaan. Lilitan bantu berfungsi untuk menghasilkan torsi awal yang cukup agar rotor dapat mulai berputar. Setelah kecepatan putaran rotor mencapai ambang tertentu, saklar sentrifugal akan aktif secara otomatis dan memutuskan aliran arus pada lilitan bantu. Selanjutnya, motor akan beroperasi hanya dengan lilitan utama, menjaga efisiensi energi selama proses kerja normal berlangsung.

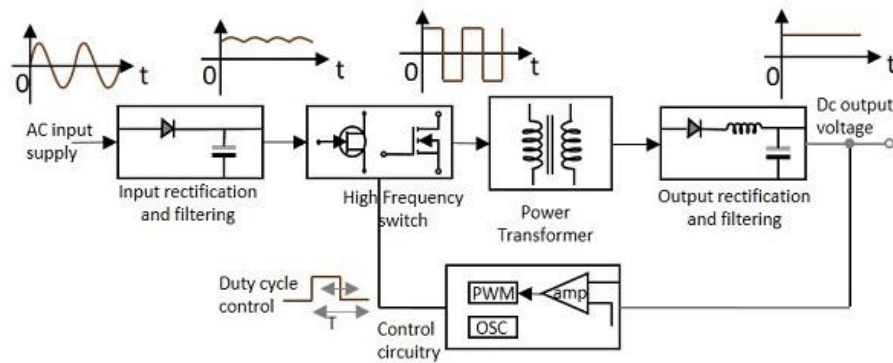


Gambar 2. 10 Kerja Motor Induksi

Gambar 2.10 menunjukkan konstruksi dasar motor induksi satu fasa, termasuk posisi lilitan utama dan lilitan bantu, rotor, dan saklar sentrifugal. Jalur aliran listrik dan peran pemisah fasa (phase splitter) juga tergambar dengan jelas, yang membantu menciptakan medan magnet berputar untuk memulai putaran rotor.

2.2.11 Switching Mode Power Supply

Switching Mode Power Supply atau SMPS merupakan jenis sistem konversi daya modern yang dirancang untuk mengubah sumber energi listrik AC maupun DC menjadi tegangan keluaran DC yang lebih stabil dengan tingkat efisiensi tinggi [18]. Tidak seperti catu daya linier konvensional yang mengandalkan elemen pasif seperti resistor atau transformator berukuran besar dan membuang energi berlebih dalam bentuk panas, SMPS mengoptimalkan proses pensaklaran berkecepatan tinggi melalui penggunaan komponen semikonduktor, seperti MOSFET, untuk mengatur konversi tegangan secara lebih efisien.



Gambar 2. 11 Blok Diagram SMPS

Gambar 2.11 menunjukkan alur konversi dari tegangan *AC input* menjadi *DC output* melalui beberapa tahapan, berikut adalah penjelasan bagian-bagian tahapannya:

1. Penyearah dan Filter Input : mengubah arus AC menjadi DC dan menyaring noise awal.
2. Switch Frekuensi Tinggi : mengubah sinyal DC menjadi sinyal berfrekuensi tinggi menggunakan transistor switching.
3. Trafo Switching : mentransfer energi dan menyesuaikan tegangan output.
4. Penyearah dan Filter Output : mengubah kembali sinyal frekuensi tinggi menjadi DC yang halus.
5. Rangkaian Kontrol : mengatur kerja switch berdasarkan feedback dari output untuk menjaga kestabilan tegangan.

Prinsip kerja SMPS melibatkan pensaklaran atau proses pemutusan dan penyambungan arus listrik dalam rentang frekuensi tinggi atau dalam puluhan hingga ratusan kilohertz. Sinyal hasil pensaklaran tersebut selanjutnya disalurkan ke rangkaian penyaring, yang umumnya terdiri dari induktor dan kapasitor, untuk menghasilkan tegangan DC yang lebih rata dan stabil. SMPS hadir dalam konfigurasi buck, boost, dan buck-boost sesuai kebutuhan aplikasi. Keunggulannya meliputi efisiensi tinggi, ukuran ringkas, dan kompatibilitas dengan berbagai tegangan input. Namun, desainnya lebih kompleks dan berisiko menimbulkan gangguan elektromagnetik (EMI), sehingga perlu dilengkapi sistem peredaman dan penyaringan yang tepat.