

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penulisan tinjauan pustaka didasari dari referensi penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan perancangan alat yang akan dikembangkan dan dibuat oleh penulis. Berdasarkan penelitian yang akan dilakukan diperoleh dari referensi penelitian terdahulu yang berjudul “Pengontrol Suhu Pada Pasteurisasi Susu Di Kube Psp Desa Kemiri Kecamatan Jabung Malang” yang disusun oleh saudara Eko Nurcahyo, Choirul Saleh, dan Bambang Prio Hartono. Penelitian tersebut menggunakan mikrokontroller Arduino Mega 2560, proses pengendalian suhu dilakukan dengan dimmer, motor servo, dan menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*). Hasil pengujian didapatkan bahwa apabila susu dipanaskan dengan suhu kurang dari 65 °C atau pada penelitian ini dipanaskan pada suhu 50°C maka kualitas susu dapat dibilang mentah, apabila susu dipanaskan dengan suhu lebih dari 65°C atau pada penelitian ini dipanaskan pada suhu 75°C maka kualitas susu akan gosong (susu pecah), dan apabila dipanaskan dengan suhu 65°C maka kualitas susu yang didapatkan adalah matang. Selain itu, penggunaan heater pada sistem tersebut membutuhkan waktu pemanasan yang cukup lama yaitu 2 jam 56 menit 51 detik. Pengaturan suhu yang sensitif terhadap perubahan beban dan kondisi lingkungan, sehingga respon sistem PID kurang optimal dalam menjaga suhu stabil di titik setpoint. Sebagai perbandingan, pada penelitian ini digunakan metode Fuzzy Logic sebagai pengendali suhu karena memiliki kemampuan adaptif terhadap perubahan kondisi sistem tanpa memerlukan model matematis yang kompleks. Selain itu, fuzzy logic mampu mengatur daya pemanas secara halus dan bertahap melalui sistem AC light dimmer, sehingga suhu dapat dijaga stabil di 64°C dengan waktu pemanasan yang lebih efisien dan tanpa risiko susu gosong atau terlalu panas [3].

Selain itu, terdapat penelitian yang dirancang oleh Alfith, Antonov Bachtiar, dan Algican A.A dengan judul “Perancangan Pengendali Suhu Air Pada Bak Mandi Menggunakan *Fuzzy Logic Controller*.” Penelitian ini menggunakan sensor DS18B20 untuk mengendalikan suhu air pada bak mandi menggunakan metode

fuzzy logic. Hasil pengujian diperoleh bahwa pengendalian suhu heater menggunakan teknik kendali fuzzy pada alat pengendali suhu air pada bak mandi membutuhkan waktu 45 detik untuk menaikkan suhu 1°C, dan waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu 1°C adalah 40 detik. Kesimpulan yang didapatkan oleh penulis adalah bahwa pengontrolan suhu air ini menggunakan input yang sedikit lebih efisien [4].

2.2 Proses Pengolahan Susu

Susu segar merupakan bahan makanan yang bergizi tinggi karena di dalam susu segar mengandung berbagai zat makanan yang lengkap dan seimbang seperti protein, lemak, karbohidrat, mineral, dan vitamin yang sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia. Nilai gizi susu yang menyebabkan susu menjadi medium yang sangat disukai oleh mikroorganisme yang mendorong pertumbuhan dan perkembangan mikroba, Sehingga dalam waktu yang singkat susu menjadi tidak layak dikonsumsi bila tidak ditangani secara tepat dan benar. Salah satu cara pengelolaan susu agar tetap bertahan lama dalam waktu tertentu adalah dengan pasteurisasi [1].

Pasteurisasi merupakan salah satu usaha pengolahan susu dengan cara pemanasan untuk mempertahankan mutu dan keamanan susu. Usaha ini adalah proses pembasmian bakteri patogen yang mungkin masih terdapat dalam air susu. Susu pasteurisasi merupakan bentuk lain dari susu segar dan sebagai usaha untuk memperpanjang daya tahannya. Pasteurisasi susu perlu dilakukan untuk mencegah pemindahan penyakit dan mencegah kerusakan selama enzimatis [2].

Pasteurisasi adalah suatu proses pemanasan pada suhu dibawah 100°C dalam jangka waktu tertentu yang dapat mematikan mikroba yang ada dalam susu. Saat ini dikenal dengan dua metode yang lazim digunakan pada proses pasteurisasi susu, yaitu LTLT (*Low Temperature Long Time*) dan HTST (*High Temperature Short Time*). Metode LTLT pada dasarnya dilakukan dengan pemanasan susu antara suhu 63-65°C dan dipertahankan pada suhu tersebut selama 30 menit. Sedangkan metode HTST dilakukan dengan pemanasan susu selama 15-16 detik pada suhu 71-75°C [3].

2.3 ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler canggih yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*, dirancang khusus untuk kebutuhan sistem tertanam dan aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT). Mikrokontroler ini memiliki prosesor *dual-core* Xtensa® 32-bit LX6 yang mampu beroperasi hingga 240 MHz, dilengkapi dengan RAM internal sebesar 520 KB dan memori flash hingga 16 MB tergantung modulnya. Keunggulan utama ESP32 terletak pada konektivitas nirkabel yang telah terintegrasi, yaitu Wi-Fi 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2 BLE, sehingga cocok untuk sistem monitoring dan kontrol jarak jauh. Dibandingkan dengan pendahulunya, ESP8266 atau ESP32, ESP32 menawarkan jumlah pin input/output yang lebih banyak seperti di Gambar 2.1 (hingga 34 GPIO), serta fitur ADC 12-bit dan DAC 8-bit untuk pengolahan sinyal analog yang lebih presisi. Modul ini juga mendukung berbagai antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I2C, PWM, CAN, SDIO, dan I2S, serta mampu diprogram melalui Arduino IDE, PlatformIO, atau *framework native Espressif IDF* [5].



Gambar 2.1 ESP32

Daya tarik lainnya dari ESP32 adalah efisiensi energinya yang memungkinkan operasi pada mode sleep dengan konsumsi daya sangat rendah, menjadikannya cocok untuk perangkat nirkabel portabel. Fitur *Over The Air* (OTA) programming juga tersedia, memungkinkan pengguna memperbarui firmware tanpa perlu koneksi kabel langsung [6].

Tabel 2.1 Spesifikasi ESP32

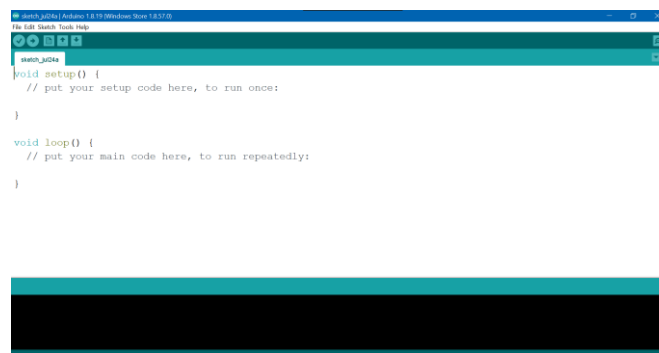
Spesifikasi	Keterangan
Prosesor	Dual-core Xtensa® 32-bit LX6, hingga 240 MHz
RAM	520 KB SRAM internal
Flash Memory	Hingga 16 MB
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth v4.2, BLE
GPIO	Hingga 34 pin
ADC / DAC	12-bit ADC, 2 kanal DAC
Tegangan Operasi	3.0–3.6 V

Dengan spesifikasi dan fitur-fitur yang berada pada Tabel 2.1, ESP32 merupakan pilihan tepat untuk sistem kendali otomatis berbasis IoT seperti proses pasteurisasi susu ini. Kemampuannya yang fleksibel, performa tinggi, dan konektivitas nirkabel menjadikannya lebih unggul dibanding ESP8266.

2.4 Arduino IDE

ESP32 dapat diprogram menggunakan *software* Arduino IDE, (*Integrated Development Environment*). Arduino IDE adalah *software* yang digunakan untuk membuat logika pemrograman terintegrasi untuk melakukan pengembangan pada berbagai macam *hardware*, Arduino IDE berperan untuk menuliskan program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* kedalam *memory microcontroller*. Bahasa C digunakan sebagai bahasa pemrograman pada *software* Arduino IDE untuk membuat logika input dan output [6].

Tampilan dari *software* Arduino IDE ditunjukkan oleh Gambar 2.2 berikut:

**Gambar 2.2** Tampilan *Software* Arduino IDE

2.5 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan suatu komponen yang dapat mengkonversi perubahan temperatur lingkungan menjadi besaran listrik. Sensor tersebut berkomunikasi dengan mikrokontroler melewati sensor digital yang menggunakan 1 *wire*. Kode serial yang dimiliki tipe sensor ini memiliki keunikan yaitu masing-masing sensor mempunyai kode serial yang membolehkan untuk menggunakan DS18B20 lebih dari satu pada satu komunikasi 1 *wire*. Dallas Semikonduktor adalah orang yang menciptakan sensor suhu digital DS18B20. Sensor suhu DS18B20 menetapkan protokol 1 *wire* komunikasi untuk pembacaan suhu. Ketelitian sensor ini mampu membaca 9 – 12bit [7]. Sebagai acuan sensor suhu DS18B20 memiliki spesifikasi atau fitur utama yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor Suhu DS18B20

Spesifikasi	Keterangan
Input Tegangan	3 – 5,5 Volt
Temperatur	– 55°C hingga 125°C
Akurasi	±0,5°C pada rentang - 10°C hingga 85°C

Bentuk fisik dari sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:

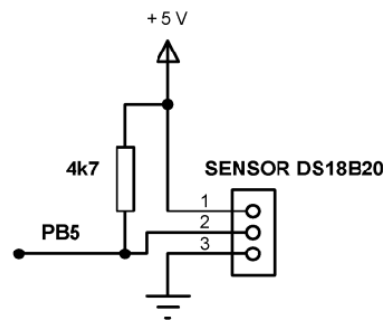


Gambar 2.3 Sensor DS18B20

Versi anti air dari sensor DS18B20 biasanya dikemas dalam tabung stainless steel yang tertutup rapat, sehingga melindungi komponen internal dari paparan air, kelembapan, maupun kotoran. Pada ujung tabung, terdapat lapisan resin atau epoksi yang menutup rapat celah agar air tidak masuk ke dalam sensor. Kabel yang keluar

dari tabung juga dilapisi dengan bahan isolasi tahan air seperti PVC atau teflon, sehingga aman digunakan di lingkungan basah atau bahkan terendam. Dengan desain ini, DS18B20 versi waterproof dapat dioperasikan pada aplikasi seperti pengukuran suhu cairan (air, susu, minyak), lingkungan luar ruangan, atau sistem pendingin tanpa risiko kerusakan akibat korosi atau hubungan arus pendek.

Skematik dari sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Skematik Sensor Suhu DS18B20

2.6 AC Light Dimmer

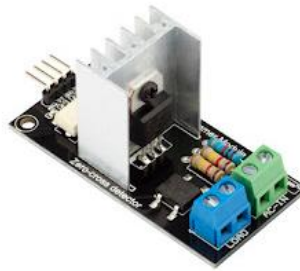
AC *Dimmer* dirancang untuk mengontrol tegangan arus bolak-balik, yang dapat mentransfer arus hingga 400V / 16A. Dalam kebanyakan kasus, *dimmer* digunakan untuk menyalakan / mematikan daya untuk lampu atau elemen pemanas, juga dapat digunakan pada kipas, pompa, pembersih udara, dll [8].

Spesifikasi dari *AC Light Dimmer* dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Spesifikasi *AC Light Dimmer*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Input	220 - 400V
Arus	8A (normal) - 16A (puncak)
<i>Logic level</i>	3,3V / 5V DC
Panjang	63mm
Lebar	30mm

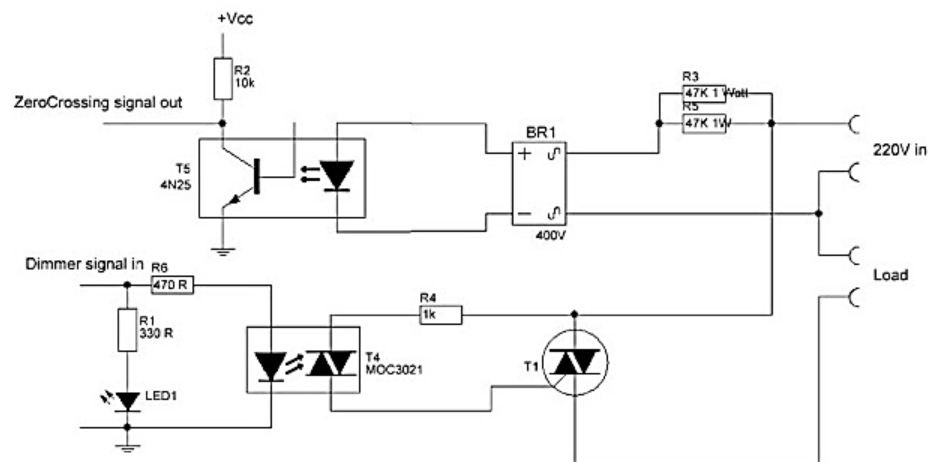
Bentuk fisik dari AC Light Dimmer dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 *AC Light Dimmer*

Bagian daya *dimmer* diisolasi dari bagian kontrol, untuk mengecualikan kemungkinan gangguan arus tinggi ke mikrokontroler. *Level* logika toleran terhadap 5V dan 3,3V, oleh karena itu dapat dihubungkan ke mikrokontroler dengan logika level 5V dan 3,3V. Di Arduino, peredup dikontrol dengan pustaka RBDdimmer.h, yang menggunakan interupsi eksternal dan interupsi waktu proses. Ini menyederhanakan penulisan kode dan memberikan lebih banyak waktu pemrosesan untuk kode utama. Itulah mengapa satu mikrokontroler dapat mengontrol beberapa *Dimmer* [8].

Skematik rangkaian dari *AC Light Dimmer* dapat dilihat pada Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Skematik rangkaian *AC Light Dimmer*

2.7 Relay

Relay adalah salah satu perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengontrol aliran listrik pada perangkat elektronik. Relay Arduino memiliki 3 buah pin yang digunakan sebagai kontrol, yakni pin GND, VCC, dan IN. GND digunakan untuk mendapatkan tegangan 0 volt, VCC digunakan untuk mendapatkan tegangan

positif +5 volt, dan IN digunakan sebagai input sinyal yang berfungsi untuk menggerakkan sebuah sensor pada relay tersebut.

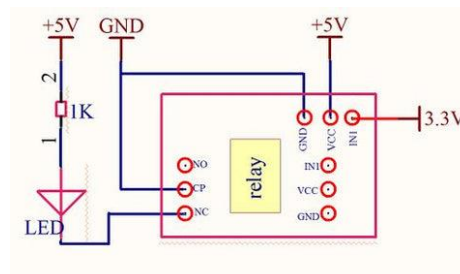
Bentuk fisik dari relay dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Relay

Secara prinsip, relay merupakan tuas saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (*solenoid*) di dekatnya, ketika *solenoid* dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Pada saat arus dihentikan, gaya magnet akan hilang, tuas akan kembali keposisi semula dan kontak saklar kembali terbuka [6].

Skematik rangkaian dari Relay dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut,



Gambar 2. 8 Skematik rangkaian Relay

2.8 Elemen Pemanas

Elemen Panas Listrik (*Electrical Heating Element*) pada *water heater* yaitu suatu alat elektrik yang bisa memanaskan air dengan gampang serta cepat. Elemen Pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Sumber panas elemen itu didapatkan dari kawat yang mempunyai tahanan listrik tinggi (*Resistance Wire*), itulah mengapa kawat itu tak meleleh atau terbakar waktu berlangsung panas. Niklin yaitu bahan yang umum digunakan pada elemen, lalu di lapisi oleh bahan isolasi yang bisa melanjutkan panas, jadi aman untuk dipakai. Cepat atau lambat *water heater* dalam memanaskan air di tetapkan oleh besar kecilnya Watt yang ada pada elemen. Tetapi, harus juga di cocokan dengan tabung *Water Heater* berapa liter air yang akan dipanasi [9].

Bentuk fisik dari elemen pemanas dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut



Gambar 2.9 Elemen Pemanas

Perubahan daya listrik juga dapat mempengaruhi pemanasan dari *heater* itu sendiri. Semakin besar daya listrik maka akan semakin panas juga *heater*. Energi panas yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan rumus.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

Q = Energi panas (Joule)

m = massa (kg)

c = Kalor jenis (J/kg°C)

ΔT = Selisih suhu (°C)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya daya *heater* yang akan dipasang pada tangki adalah:

$$P = Q/t \quad (2.2)$$

P = Daya *heater* yang dibutuhkan (Watt)

Q = Energi panas (Joule)

t = Waktu (s)

2.9 Sensor Ultrasonik HY-SRF05

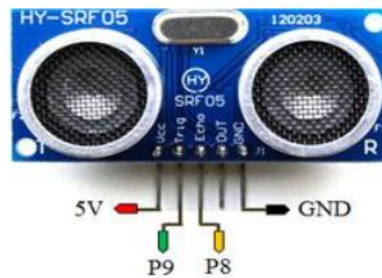
Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu yang berada di depan sensor. Sensor ultrasonik mentransmisikan gelombang bunyi dengan frekuensi antara 40 kHz hingga 400 kHz. Sensor ultrasonik mengeluarkan pulsa sesuai dengan waktu yang dibutuhkan gelombang untuk kembali ke sensor. Sensor ultrasonik terdiri dari dua bagian, yaitu rangkaian pemancar gelombang ultrasonik (*transmitter*) dan rangkaian penerima gelombang ultrasonik (*receiver*) [10]

Spesifikasi dari Sensor Ultrasonik HY-SRF05 dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor Ultrasonik HY-SRF05

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan kerja	5V (DC)
Arus statis	< 2mA
Sudut pengukuran	$\leq 15^\circ$
Jarak Deteksi	2cm – 450cm
Akurasi	0,3cm

HY-SRF05 dapat mengukur jarak dalam rentang antara 2 sampai 450 cm dengan output panjang pulsa yang sebanding dengan jarak objek. Sensor ini hanya memerlukan dua pin I/O untuk berkomunikasi dengan Arduino, yaitu pin *Trigger* dan *Echo*. HY-SRF05 diaktifkan oleh Arduino dengan mengirimkan pulsa *high* melalui pin *Trigger* selama 10 μ s untuk membangkitkan gelombang ultrasonik. Gelombang ini ditransmisikan melalui udara dan akan dipantulkan kembali apabila mengenai suatu objek padat. Gelombang yang dipantulkan akan diterima oleh sensor sehingga membuat keluaran sinyal *high* pada pin *Echo* dan menjadi *input* bagi Arduino. HY-SRF05 akan mengirimkan pulsa selama 100 μ s hingga 18 ms pada outputnya tergantung pada informasi jarak pantulan objek yang diterima [10]. Bentuk fisik dari sensor ultrasonik HY-SRF05 dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Sensor HY-SRF05

2.10 Catu Daya

Catu daya atau *power supply* adalah sebuah perangkat yang berisi rangkaian elektronika yang dapat digunakan untuk mengalirkan daya listrik ke rangkaian ataupun perangkat listrik dan elektronika lainnya. Dengan menggunakan sebuah *power supply*, perangkat listrik dan elektronik dapat beroperasi secara maksimal karena pasokan daya listrik yang dialirkan oleh *power supply* stabil sehingga dengan menggunakan *power supply* juga dapat mengurangi tingkat resiko kerusakan perangkat akibat perubahan tegangan listrik yang ekstrem. Fungsi *power supply* pada umumnya adalah mengubah energi listrik dari jaringan PLN menjadi energi listrik yang dibutuhkan dan menyalurkannya ke perangkat dan rangkaian listrik lainnya [11]. Spesifikasi dari catu daya dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Spesifikasi Catu Daya

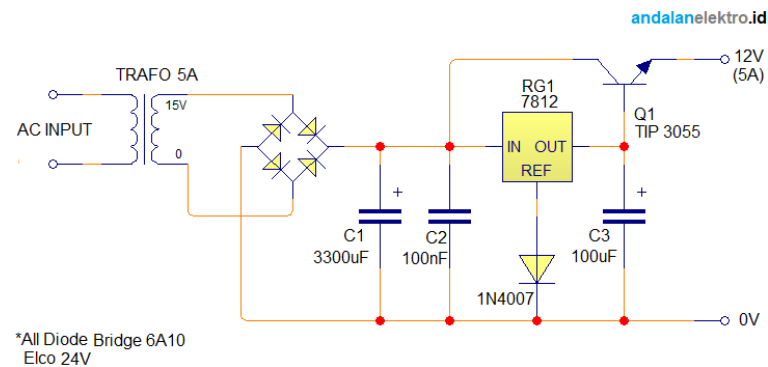
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan input	180 – 240 V AC
Tegangan output	12 V DC
Arus output	Max 5A

Bentuk fisik dari catu daya dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Catu Daya

Skematik dari catu daya dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Skematik Catu Daya

2.11 Modul Step Down LM2596

Modul *Stepdown* LM2596 merupakan model penurun tegangan yang keluarannya dapat diatur melalui potensiometer. Komponen utama dari modul ini adalah IC LM2596 yang merupakan *integrated circuit* yang fungsinya sebagai *Step-down DC converter* dengan *current rating* 3A. Modul ini memiliki rangkaian *buck converter DC to DC* yang fungsinya menurunkan tegangan DC ke DC dengan menggunakan *switching*.

Spesifikasi dari Modul LM2596 dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Spesifikasi Modul LM2596

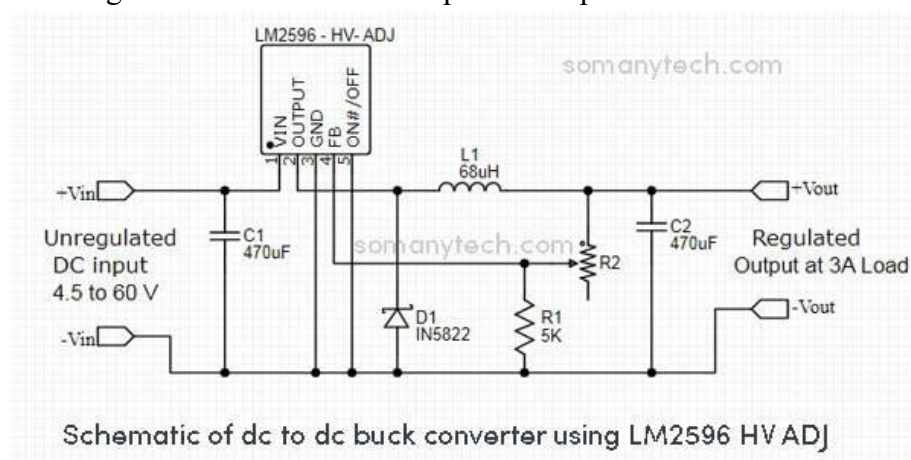
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan <i>Input</i>	3 – 40V (DC)
Tegangan <i>Output</i>	1.5 – 35V (DC)
Tegangan <i>Output</i>	Max 3A
Rasio Penyesuaian Tegangan	+/- 2,5%
Frekuensi	150KHz

Bentuk fisik modul LM2596 dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut:



Gambar 2.13 Modul LM2596

Skematik rangkaian Modul LM2596 dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2.14 Skematik Modul LM2596

Berdasarkan skematik dari modul ini terdapat IC mosfet LM2596 yang mana bertindak sebagai saklar yang dapat membuka dan menutup pada rangkaian sehingga didapatkan *output* (keluaran) dapat diatur disesuaikan dengan *duty cycle* yang sebelumnya diatur. Kondisi saat mosfet *on* (*open*) dan dioda *off* maka arus akan mengalir dari sumber untuk melakukan pengisian induktor, kapasitor, kembali ke beban, dan kembali lagi ke sumber. Kondisi saat mosfet *off* (*closed*) dan dioda *on* maka arus yang sudah disimpan pada induktor akan dikeluarkan menuju beban yang nantinya membuat dioda *freewheeling* dan arus kembali lagi ke induktor.

Penambahan rangkaian dengan rangkaian *feedback* (umpan balik) akan menghasilkan *output* atau keluaran tegangan yang konstan. Adanya rangkaian *feedback* sebagai pembanding antara nilai output dan nilai referensi, hasil selisihnya akan digunakan untuk menghasilkan *duty cycle* PWM untuk penyesuaian kontrol pada *switching* mosfet. Banyaknya selisih yang dihasilkan akan berpengaruh

dengan besar kecilnya *duty cycle* PWM. Semakin besar hasil *duty cycle* maka semakin besar tegangan keluaran yang dihasilkan dari DC *buck converter* [12].

2.12 Motor DC

Motor DC merupakan perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan. Motor DC memiliki dua terminal atau kabel, yaitu power dan ground. Motor ini memerlukan tegangan DC agar dapat bergerak. Biasanya digunakan pada perangkat elektronik yang menggunakan sumber listrik DC seperti kipas pendingin komputer dan mobil *remote control*. Motor DC menghasilkan sejumlah putaran per menit atau biasa dikenal dengan istilah RPM (*revolutions per minute*) dan dapat berputar searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam sehingga tergantung polaritas listrik yang diberikan. [13] Bentuk fisik dari motor DC dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut:



Gambar 2.15 Motor DC

Prinsip kerja motor DC (*brushed*) terdapat pada dua bagian utama pada motor DC, yaitu *stator* dan *rotor*. *Stator* merupakan bagian yang tidak berputar yang berfungsi sebagai rumah (*body*) motor yang di dalamnya terdiri atas kumparan penguat medan magnet dan terminal motor. Sedangkan *rotor* merupakan bagian yang berputar dan menghasilkan putaran mekanik [13].

2.13 Pulse Width Modulation (PWM)

Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0% hingga 100%). Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, pengendalian motor servo, pengaturan nyala terang LED [14].

Rumus untuk menghitung *duty cycle* adalah:

$$Duty\ Cycle(\%) = \left(\frac{TON}{TOFF+TON} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

atau dapat ditulis sebagai:

$$Duty\ Cycle(\%) = \left(\frac{Waktu\ Aktif}{Waktu\ Total} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

Dimana:

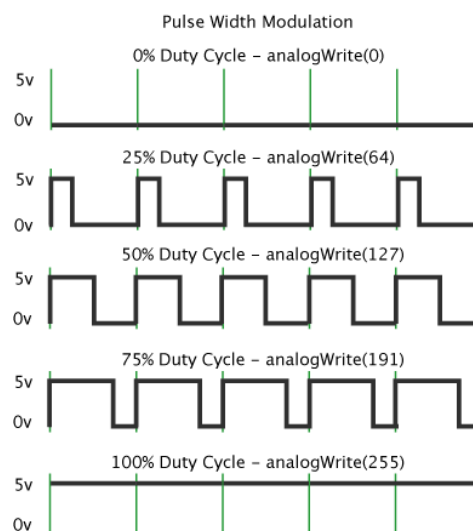
- TON adalah durasi sinyal berada pada logika tinggi (aktif)
- TOFF adalah durasi sinyal berada pada logika rendah (mati)
- TON + TOFF merupakan periode satu siklus sinyal

Contoh:

- *Duty cycle* 100% berarti sinyal selalu aktif (tegangan penuh)
- *Duty cycle* 50% berarti sinyal aktif separuh waktu dan mati separuh waktu
- *Duty cycle* 0% berarti sinyal selalu mati (tidak ada *output*)

Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya mencakup pengaturan kecepatan motor DC, pengendalian posisi motor servo, serta pengaturan tingkat kecerahan LED atau daya pada elemen pemanas. Dengan memanfaatkan PWM, mikrokontroler dapat melakukan pengendalian daya secara efisien tanpa memerlukan konversi analog yang kompleks [14].

Tampilan dari berbagai nilai *duty cycle* PWM ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut:



Gambar 2.16 *Duty cycle* PWM

2.14 Tangki

Tangki merupakan wadah penyimpanan yang sering dipakai di berbagai industri. Tangki produksi tidak hanya menjadi tempat produksi akan tetapi juga bisa sebagai penyimpanan untuk produk dan bahan baku sementara, hal tersebut ditujukan untuk menjaga kelancaran ketersediaan produk dan bahan baku. Selain itu, tangki juga dapat menjaga produk atau bahan baku dari kontaminan.

Pentingnya memilih jenis tangki industri yang tepat sangat penting dalam mencapai efisiensi produksi, keamanan, dan kualitas produk. Tangki produksi biasanya digunakan untuk produksi skala *batch*, keuntungan produksi skala *batch* adalah dapat memproduksi bahan baku dalam waktu dan jumlah tertentu[15]. Bentuk fisik tangki produksi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut:



Gambar 2.17 Tangki

Untuk menghitung volume air didalamnya bisa menggunakan rumus tabung:

$$V = 2. \pi. r^2. h \quad (2.5)$$

Dengan:

V = Volume air di dalam drum (ℓ)

$\pi = 3.14$

r = Jari-jari tabung (mm)

h = Tinggi air di dalam tabung (mm)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas 0-100% di dalam tangki yang terbuka bagian atasnya adalah:

$$\text{persentase } V = \frac{x}{V_{total}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dengan:

x = Volume yang dicari

2.15 Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah salah satu cabang dari kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang memungkinkan sistem komputer meniru proses pengambilan

keputusan manusia dengan cara menangani informasi yang tidak pasti, tidak lengkap, atau samar. Berbeda dari logika biner yang hanya mengenal nilai “benar” (1) atau “salah” (0), logika *fuzzy* memungkinkan nilai di antara keduanya, seperti 0.3, 0.7, atau lainnya, sehingga lebih fleksibel dan menyerupai cara berpikir manusia [16].

Fuzzy logic bekerja berdasarkan tahapan utama: fuzzifikasi, inferensi (*inference engine*), dan defuzzifikasi. Tahapan ini mencakup konversi nilai *crisp* menjadi *fuzzy*, pemrosesan berdasarkan aturan *IF-THEN*, lalu pengubahan kembali ke nilai *crisp* untuk dikirimkan ke aktuator.

- Metode Inferensi Fuzzy

Dalam fuzzy inference system, terdapat beberapa metode yang umum digunakan, di antaranya Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani.

1. Metode Tsukamoto menghasilkan *output crisp* pada setiap aturan dan menggunakan fungsi keanggotaan monoton. Biasanya digunakan untuk sistem yang memerlukan perhitungan numerik bertahap.
2. Metode Sugeno menghasilkan output berupa fungsi linier atau konstanta dan cocok untuk sistem adaptif dan integrasi dengan kontrol PID.

Namun, metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode Mamdani, karena lebih intuitif dan menyerupai logika manusia.

- Metode Mamdani (Min–Max)

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan salah satu metode *fuzzy inference* yang paling banyak digunakan karena hasilnya dapat divisualisasikan dan mudah dipahami secara linguistik. Dalam metode ini, setiap aturan *fuzzy* terdiri dari bagian anteseden (*IF*) dan konsekuen (*THEN*), di mana proses inferensi menggunakan operator *min* untuk menentukan derajat kebenaran dalam anteseden dan *max* untuk agregasi hasil di bagian konsekuen.

Contoh bentuk aturan fuzzy Mamdani:

IF suhu is Tinggi *AND* level is Rendah *THEN* daya pemanas is Sedang.

Proses Mamdani melibatkan:

1. Fuzzifikasi input (mengubah suhu dan level menjadi *fuzzy set*)

2. Penerapan aturan *fuzzy* dengan logika *fuzzy AND/OR*
3. Agregasi i *fuzzy* dengan operator max
4. Defuzzifikasi (misalnya dengan metode *centroid*) untuk mendapatkan *output crisp*, seperti nilai PWM.

Rumus umum untuk menghitung nilai crisp output (Z) dari sebuah sistem fuzzy yang berbentuk trapezium dengan batas-batas a , b , c , dan d dengan metode centroid adalah sebagai berikut.

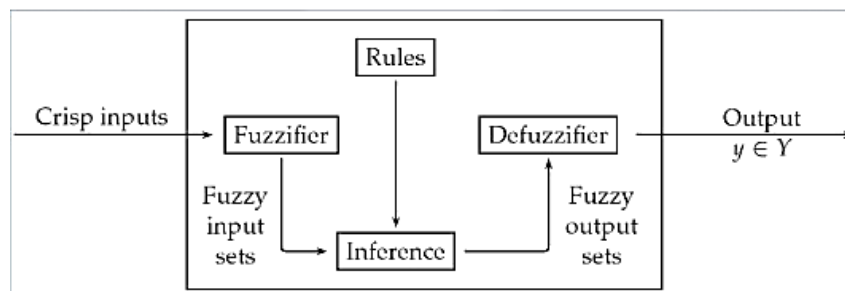
$$Z = \frac{a+2b+2c+d}{6} \quad (2.7)$$

Jika bentuknya segitiga(yaitu $b=c$), maka rumusnya lebih sederhana sebagai berikut.

$$Z = \frac{a+b+c}{3} \quad (2.8)$$

Metode Mamdani cocok digunakan dalam sistem pasteurisasi susu ini karena mampu menangani variabel linguistik seperti “suhu tinggi” dan “level rendah” dengan logika sederhana namun efektif. Penggunaan metode ini telah terbukti efektif pada banyak aplikasi sistem kendali berbasis fuzzy [17],[18].

Diagram alur proses *fuzzy logic* dengan metode Mamdani dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut:



Gambar 2.18 Blok Diagram *Fuzzy Logic* (Mamdani)

Seperti Gambar 2.18 sistem logika *fuzzy* memiliki beberapa tahapan operasional, yang digambarkan dalam blok diagram. Pertama, terdapat "*Crisp inputs*" yang merupakan masukan nilai-nilai jelas dan pasti (*non-fuzzy*) ke dalam sistem. Selanjutnya, blok "Fuzzifier" (Fuzzifikasi) akan mengubah masukan nilai *crisp* ini menjadi bentuk *fuzzy* dalam himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya masing-masing. "Rules" atau aturan-aturan "jika-maka" (*if-then*

rules) menjadi dasar penalaran dalam sistem *fuzzy*. Kemudian, blok "*Inference*" (Mesin Penalaran) berfungsi untuk memetakan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) berdasarkan aturan "jika-maka" yang telah ditentukan, dengan dua metode utama yang digunakan adalah Mamdani dan Sugeno. Tahap terakhir adalah "*Defuzzifier*" (Defuzzifikasi), yang merupakan kebalikan dari fuzzifikasi, di mana variabel *fuzzy* diubah kembali menjadi nilai *crisp* (jelas dan pasti) yang kemudian akan dikirimkan ke perangkat terkait. Hasil akhir dari proses ini adalah "*Output*" ($y \in Y$) yang berupa keluaran *crisp* dari sistem logika *fuzzy*.

2.16 Delphi

Delphi adalah Suatu bahasa pemrograman yang menggunakan visualisasi sama seperti bahasa pemrograman *Visual Basic* (VB). Namun Delphi menggunakan bahasa yang hampir sama dengan pascal (sering disebut object pascal). Sehingga lebih mudah untuk digunakan. Bahasa pemrograman Delphi dikembangkan oleh *CodeGear* sebagai divisi pengembangan perangkat lunak milik embarcadero.

Delphi juga menggunakan konsep yang berorientasi objek (OOP), maksudnya pemrograman dengan membantu sebuah aplikasi yang mendekati keadaan dunia yang sesungguhnya. OOP ini memiliki beberapa unsur yaitu; *Encapsulation* (pemodelan), *Inheritance* (Penurunan), *Polymorphism* (Polimorfisme) [18]. Logo dari Delphi dapat dilihat pada Gambar 2.19 berikut:



Gambar 2.19 Borland Delphi

Kelebihan Borland Delphi antara lain:

1. Berbasis Objek Oriented programming, seperti bagian yang ada pada program dipandang sebagai suatu objek yang mempunyai sifat-sifat yang dapat diubah

dan diatur, sehingga kita dapat membuat tampilan sebuah program dengan desain kita sendiri tanpa harus membuat coding yang panjang.

2. Suatu file EXE, setelah anda merancang program pada IDE Delphi akan mengkomplikasinya pada sebuah file executable tunggal. Program yang anda buat dapat langsung didistribusikan dan dijalankan pada komputer lain tanpa perlu menyertakan file lain, kecuali file yang beretensi *.exe atau Aplikasi tersebut membutuhkan file lain seperti database, koneksi atau file pendukung lainnya, ini merupakan kelebihan yang sangat berarti [18].

2.17 Agitator

Agitator adalah perangkat yang dirancang untuk mencampur media secara merata di dalam tangki. Alat ini bekerja dengan memutar impeller yang terendam pada kecepatan tertentu, diukur dalam putaran per menit (RPM). Gerakan yang dihasilkan oleh impeller menciptakan aliran dan turbulensi di dalam tangki, membantu keseragaman media dengan satu atau beberapa komponen. Proses ini memastikan aliran dan pola yang konsisten di dalam tangki [20].

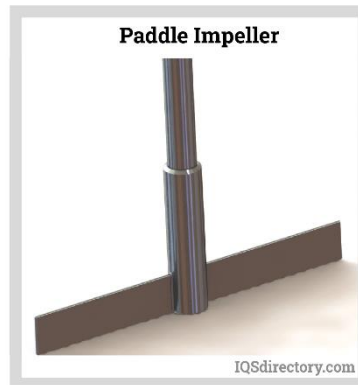
Dalam lingkungan industri, agitator memainkan beberapa peran penting sebagai berikut:

1. Memastikan larutan dan suspensi tercampur untuk mencapai tekstur yang konsisten
2. Menjaga larutan tetap tercampur untuk menghindari perbedaan konsentrasi
3. Memfasilitasi dispersi gas ke dalam pelarut cair
4. Meningkatkan reaksi kimia di dalam reaktor
5. Menstabilkan tingkat suhu larutan dalam bejana

Jenis-jenis agitator dapat dibagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

1. Pengaduk Dayung

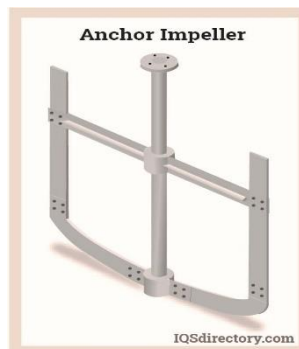
Pengaduk dayung terdiri dari dua bilah impeler datar berbentuk dayung yang memanjang hingga mencapai dinding tangki. Pengaduk ini digunakan jika aliran aksial dan radial yang ekstensif tidak diperlukan. Bilah sekunder dapat dipasang pada bilah dayung untuk meningkatkan pencampuran material yang lebih kental. Berikut merupakan bentuk dari pengaduk dayung atau *paddle impeller*:



Gambar 2. 20 Pengaduk Dayung

2. Pengaduk Jangkar

Pengaduk jangkar memiliki impeler berbentuk jangkar, biasanya berbentuk U yang sesuai dengan kontur tangki. Pengaduk ini umumnya menghasilkan pola aliran tangensial, tetapi dapat juga dilengkapi bilah bersudut pada penyangga horizontalnya untuk menghasilkan aliran aksial. Berikut merupakan bentuk dari pengaduk jangkar atau *anchor impeller*.



Gambar 2. 21 Pengaduk Jangkar

3. Pengaduk Pita Heliks

Pengaduk pita heliks memiliki bilah impeler heliks yang terpasang pada poros dengan batang. Impeler ini berfungsi sebagai alternatif impeler jangkar dan dirancang untuk menghasilkan pola aliran aksial. Impeler ini menyediakan area kontak fluida yang lebih luas, sehingga efektif untuk mencampur fluida dengan viskositas yang lebih tinggi. Berikut merupakan bentuk dari pengaduk pita heliks atau *helical ribbon impeller*.



Gambar 2. 22 Pengaduk Pita Heliks

4. Pengaduk dengan Impeller Hidrofoil

Impeler hidrofoil memiliki dua hingga empat bilah yang sempit, meruncing, dan melengkung, dengan konfigurasi tiga bilah yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri. Sudut bilah meningkat dari ujung ke hub, menciptakan pola aliran aksial. Impeler ini dirancang untuk memaksimalkan aliran fluida sekaligus menghasilkan geseran rendah dan mengonsumsi energi minimal, sehingga lebih efisien daripada impeler bilah bernada. Berikut merupakan bentuk dari pengaduk dengan impeller hydrofoil atau *standard and wide blade hydrofoil impellers* [20].



Gambar 2. 23 Pengaduk dengan Impeller Hidrofoil

2.18 Buzzer Speaker Active



Gambar 2. 24 Buzzer Speaker Active

Buzzer speaker active merupakan perangkat yang praktis digunakan untuk memberi indikasi suara pada berbagai proyek elektronik. Karena sudah memiliki

osilator internal, penggunaannya sangat sederhana dan tidak memerlukan pengaturan frekuensi atau sinyal tambahan dari mikrokontroler. Modul ini biasanya memiliki dua pin, yaitu VCC dan GND, sehingga cukup dihubungkan ke sumber daya 5V untuk menghasilkan bunyi. Suara yang dihasilkan bersifat tetap, dengan frekuensi tertentu yang sudah ditetapkan pabrik. Buzzer aktif cocok digunakan sebagai alarm, notifikasi, atau indikator status pada sistem otomasi [21].

2.19 LCD 20x4 I2C



Gambar 2. 25 LCD 20x4 I2C

LCD 20x4 I2C merupakan versi LCD standar yang dilengkapi modul I2C (Inter-Integrated Circuit) untuk memudahkan komunikasi dengan mikrokontroler. Modul I2C menggunakan chip PCF8574 atau sejenisnya sebagai ekspander I/O, sehingga hanya membutuhkan dua kabel data, yaitu SDA dan SCL, selain VCC dan GND. Dengan I2C, kontrol LCD menjadi lebih sederhana karena tidak perlu banyak pin digital, cukup mengirim perintah melalui protokol I2C. Fungsi dasar seperti menulis karakter ke DDRAM atau menampilkan karakter custom di CGRAM tetap sama seperti pada LCD HD44780 biasa. Kecepatan komunikasi I2C juga cukup untuk aplikasi monitoring atau display status pada proyek mikrokontroler. LCD I2C 20x4 sangat cocok untuk proyek yang membutuhkan tampilan teks panjang dengan penghematan pin mikrokontroler. Selain itu, beberapa modul I2C juga menyediakan potensiometer onboard untuk mengatur kontras LCD secara mudah [22].

2.20 Standar Deviasi dalam Pengukuran Sensor

Dalam sistem kontrol berbasis sensor, akurasi dan konsistensi pembacaan merupakan aspek yang sangat penting untuk menjamin performa sistem secara keseluruhan. Salah satu metode statistik yang umum digunakan untuk mengukur penyebaran data hasil pengukuran adalah standar deviasi (*standard deviation*).

Standar deviasi menunjukkan seberapa besar variasi atau deviasi dari nilai rata-rata (*mean*) data yang dikumpulkan. Nilai standar deviasi yang kecil menandakan bahwa data tersebar dekat dengan rata-rata dan pembacaan sensor konsisten.

Standar deviasi dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \sqrt{\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right\}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

- σ : Standar deviasi
- x_i : Data ke-i
- $\bar{x}$: Nilai rata-rata dari seluruh data
- n : Jumlah data

Dalam konteks sistem pasteurisasi otomatis ini, standar deviasi digunakan untuk mengevaluasi stabilitas pembacaan sensor suhu DS18B20 dan sensor level HY-SRF05 terhadap waktu. Semakin kecil nilai standar deviasi dari hasil pengukuran, maka semakin stabil dan dapat diandalkan sensor tersebut dalam kontrol suhu maupun pemantauan volume[23].