BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Setelah penyusun mencari referensi, terdapat beberapa literatur yang memiliki keterkaitan dengan perancangan alat yang penulis lakukan. Berikut adalah beberapa referensi yang penulis gunakan:

Tabel 2. 1 Daftar Referensi

Peneliti	**Judul**	**Keterangan**
Osti, R., Bhattarai, D., & Zhou, D. (2021)	*Effects of brooding temperature on the growth performance and health of broiler chicks.*	Suhu optimal (32–34°C minggu pertama) membantu anak ayam mempertahankan suhu tubuh, meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan.
Li, J., Li, X., Zhang, L., & Gao, F. (2020)	*Effect of heat stress on growth performance, meat quality, and muscle oxidation in broilers.*	Suhu stabil meningkatkan nafsu makan dan efisiensi FCR, sedangkan suhu ekstrem menurunkan konsumsi pakan.
Zhang, Z. Y., et al. (2020)	*Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet.*	Mortalitas Suhu stabil mengurangi stres panas/dingin, meningkatkan imunitas, dan menurunkan angka kematian
Ghanima, M.	*Influence of*	Sistem kontrol suhu otomatis menghemat

Peneliti	Judul	Keterangan
M. A., et al. (2021)	*temperature control strategies on poultry production and welfare.*	energi, mengurangi biaya pemeliharaan, dan mempertahankan performa ayam.
Bessei, W., & Estevez, I. (2022)	*Management practices and environmental factors influencing broiler production.*	Manajemen suhu yang tepat mempercepat waktu panen, meningkatkan bobot ayam, dan meningkatkan produktivitas.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 DOC (*Day Old Chick*) dan Fase *Brooding*

DOC (*Day Old Chick*) adalah anak ayam umur 0–7 hari yang baru menetas dan berada pada fase adaptasi awal terhadap lingkungan. Pada fase ini kemampuan regulasi suhu tubuh belum optimal, sehingga DOC sangat bergantung pada kondisi kandang (pemanas, ventilasi, dan kelembapan). Manajemen brooding yang baik bertujuan menjaga DOC tetap nyaman, aktif, mampu mengonsumsi pakan dan minum secara cukup, serta meminimalkan stres dan mortalitas.

Ciri perilaku DOC dapat menjadi indikator kondisi lingkungan. DOC yang kedinginan cenderung bergerombol rapat di bawah sumber panas, sedangkan DOC yang kepanasan cenderung menjauh dari pemanas dan terengah-engah. DOC yang nyaman biasanya menyebar merata, aktif, dan pola makan-minum lebih teratur. Oleh karena itu, pemantauan kondisi kandang (suhu/kelembapan) dan respon DOC merupakan bagian penting dalam pemeliharaan.

2.2.2 Parameter Lingkungan Kandang (Suhu, Kelembapan, dan Dampaknya)

Parameter lingkungan yang paling berpengaruh pada fase *brooding* adalah suhu dan kelembapan. Suhu yang terlalu rendah dapat menurunkan aktivitas DOC, mengurangi konsumsi pakan, meningkatkan risiko penyakit pernapasan, dan berujung pada kematian. Suhu yang terlalu tinggi menyebabkan DOC stres panas, minum berlebihan, konsumsi pakan menurun, serta pertumbuhan melambat. Kelembapan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko litter basah dan pertumbuhan mikroorganisme, sedangkan kelembapan yang terlalu rendah dapat memicu dehidrasi dan iritasi saluran pernapasan. Karena kondisi kandang dapat berubah akibat cuaca dan pemanas, pemantauan suhu dan kelembapan secara real-time diperlukan agar penyesuaian dapat dilakukan lebih cepat. Dalam tugas akhir ini, parameter suhu dan kelembapan dibaca menggunakan sensor DHT22 dan ditampilkan pada LCD untuk memudahkan pemantauan langsung.

2.2.2.1 Massa (Bobot Badan) Anak Ayam

Massa atau bobot badan merupakan indikator kuantitatif untuk mengevaluasi pertumbuhan anak ayam. Bobot awal anak ayam umumnya berada pada kisaran 35–45 gram tergantung strain dan standar hatchery. Pertambahan bobot badan yang optimal menunjukkan bahwa manajemen pakan, suhu, dan kelembapan berada dalam kondisi yang sesuai. Pemantauan bobot badan dilakukan secara berkala menggunakan timbangan digital dengan tingkat ketelitian dalam satuan gram. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil penimbangan terhadap standar pertumbuhan.

Tabel 2. 2 Standar Bobot Badan Anak Ayam Minggu Pertama

Umur (Hari)	Bobot Standar (Gram)	Keterangan
1 (DOC)	35–45 g	Bobot awal setelah menetas
3	60–75 g	Adaptasi awal lingkungan
5	100–120 g	Pertumbuhan mulai stabil
7	160–180 g	±4–5 kali bobot awal

Apabila bobot aktual berada di bawah standar, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap kualitas pakan, suhu kandang, kelembapan, serta kepadatan populasi. Ketidaksesuaian bobot badan dapat menjadi indikator awal adanya stres lingkungan atau gangguan kesehatan.

2.2.2.2 Suhu Kandang pada Fase Brooding

Suhu kandang merupakan faktor lingkungan yang sangat menentukan kelangsungan hidup anak ayam. Pada fase awal kehidupan, anak ayam belum mampu mengatur suhu tubuhnya secara optimal sehingga sangat bergantung pada sumber pemanas eksternal.

Tabel 2. 3 Standar Suhu Kandang Fase Brooding

Umur	Suhu Ideal (°C)	Keterangan
0–3 hari	32–34 °C	Masa kritis, membutuhkan suhu tinggi
4–7 hari	30–32 °C	Mulai adaptasi
Minggu ke-2	28–30 °C	Sistem termoregulasi mulai berkembang
Minggu ke-3	26–28 °C	Mendekati suhu normal lingkungan

Suhu yang terlalu rendah menyebabkan DOC bergerombol di bawah pemanas (cold stress), sedangkan suhu yang terlalu tinggi menyebabkan DOC menjauh dari sumber panas (heat stress). Kedua kondisi tersebut dapat menurunkan konsumsi pakan dan memperlambat pertumbuhan.

2.2.2.3 Kelembapan Udara

Kelembapan udara dinyatakan dalam persen *relative humidity* (%RH) dan berperan dalam menjaga kenyamanan serta kesehatan sistem pernapasan anak ayam. Kelembapan yang seimbang membantu menjaga kondisi litter tetap kering dan mengurangi kadar amonia di dalam kandang.

Tabel 2. 4 Standar Kelembapan Kandang DOC

Umur DOC	Kelembapan Ideal (%RH)	Dampak Jika Tidak Sesuai
Minggu ke-1	60–70%	Terlalu tinggi → litter basah, amonia meningkat

Umur DOC	Kelembapan Ideal (%RH)	Dampak Jika Tidak Sesuai
Minggu ke-2	50–70%	Terlalu rendah → debu meningkat
Minggu ke-3	50–70%	Risiko gangguan pernapasan

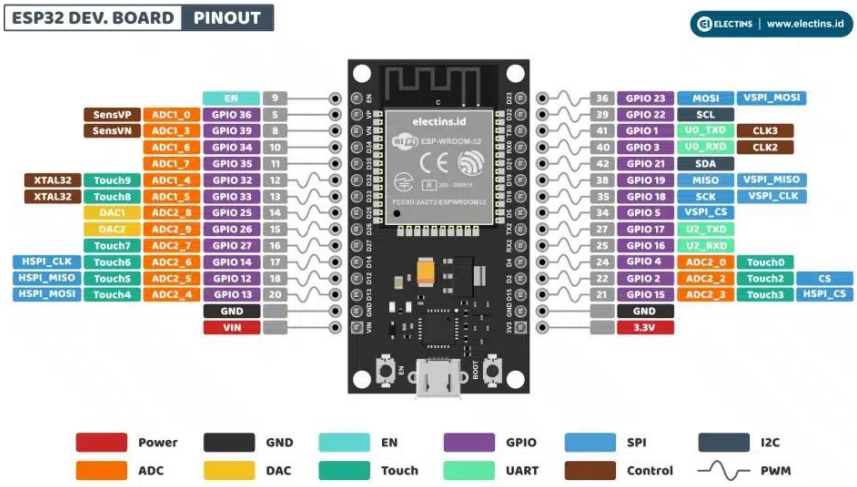
Kelembapan yang terlalu tinggi (>75%) dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan akibat tingginya kadar amonia. Sebaliknya, kelembapan yang terlalu rendah (<40%) dapat menyebabkan dehidrasi serta peningkatan debu di dalam kandang.

2.2.3 Mikrokontroler ESP32

Gambar 2. 1 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah chip dengan WiFi 2.4 GHz dan bluetooth dengan desain teknologi 40 nm yang dirancang untuk daya dan kinerja radio terbaik yang menunjukkan ketahanan, keserbagunaan dan keandalan dalam berbagai aplikasi dan skenario daya. ESP32 merupakan sebuah modul mikrokontroler dengan fitur mode ganda yakni WiFi dan bluetooth yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam membuat berbagai system aplikasi dan projek berbasis IoT (*Internet of Things*). ESP32 adalah mikrokontroler yang diperkenalkan oleh Espressif System dan merupakan penerus dari ESP8266, ESP32 memiliki banyak fitur tambahan dan keunggulan dibandingkan generasi sebelumnya. Pada ESP32 terdapat inti CPU serta Wi-Fi yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, dan dukungan terhadap Bluetooth 4.2, serta konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk membuat beberapa proyek-proyek elektronika berbasis *Internet of Things* [9].

ESP32 Dev Kit V1 adalah sebuah board pengembangan (*development board*) yang didukung oleh mikrokontroler Tensilica 32-bit Single-/Dual-core CPU Xtensa LX6 dengan kecepatan clock 240 Mhz. Board ini dilengkapi dengan 520KiB SRAM dan 4 MB flash memory untuk menyimpan program dan data. Board ini juga memiliki 25 digital input/output (DIO) pins, 6 analog input (ADC) pin, dan 2 analog output (DAC) pin yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti mengendalikan perangkat elektronik atau membaca sensor. Selain itu, ESP32 DevKit V1 juga dilengkapi dengan 3 UARTs, 2 SPIs, dan 3 I2Cs, yang memungkinkan board ini untuk berkomunikasi dengan perangkat lain secara serial atau menggunakan protokol komunikasi seperti SPI dan I2C. Board ini juga dilengkapi dengan Wi-Fi yang mendukung standar IEEE 802.11 b/g/n/e/, sehingga board ini dapat terhubung ke jaringan Wi-Fi dan berkomunikasi dengan perangkat lain melalui jaringan tersebut. Dengan ukuran 51.5x29x5mm, board ini cukup kecil dan mudah untuk diintegrasikan ke dalam proyek-proyek yang lebih kompleks. Keseluruhan, ESP32 Dev Kit V1 adalah board pengembangan yang kuat dan serbaguna, yang cocok untuk berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT) atau proyek-proyek elektronika yang membutuhkan konektivitas Wi-Fi.



Gambar 2. 2 Pin Out ESP32

Berikut adalah penjelasan tentang konfigurasi pinout dari ESP32:

1. Pin GPIO: Papan ini menyediakan sejumlah pin Input/Output Serbaguna (GPIO) yang dapat digunakan untuk berbagai fungsi input/output digital. Pin-

pin ini juga mendukung fungsi seperti PWM, I2C, SPI, dan lainnya.

2. Input Analog: Beberapa pin pada ESP32 DevKit V1 mampu membaca sinyal analog, membuatnya cocok untuk dihubungkan dengan sensor analog.
3. Pin 3.3V dan GND: Digunakan untuk memberi daya pada komponen atau sensor eksternal.
4. 5V dan GND: Papan juga dapat menyediakan keluaran 5V, yang berguna untuk memberi daya pada modul eksternal yang memerlukan daya lebih besar.
5. VIN: Ini adalah pin tegangan input, yang dapat digunakan untuk memberi daya pada papan saat tidak menggunakan koneksi USB.
6. ID: Ini adalah pin pengaktif. Pin ini digunakan untuk mengatur ulang mikrokontroler.
7. TX/RX: Pin ini digunakan untuk komunikasi serial.
8. Antarmuka SPI: Papan memiliki pin untuk komunikasi SPI, memungkinkan transfer data cepat dengan periferal seperti layar atau memori flash.
9. Antarmuka I2C: ESP32 DevKit V1 mendukung komunikasi I2C, yang banyak digunakan untuk berinteraksi dengan sensor dan periferal lainnya.
10. Pin Sensor Sentuh: Beberapa GPIO dapat digunakan sebagai input sentuh kapasitif, menawarkan antarmuka untuk perangkat input berbasis sentuhan.
11. VP/VN: Ini adalah pin untuk sensor efek hall internal.
12. Jembatan USB-ke-UART: Fitur ini penting untuk memprogram ESP32 menggunakan kabel USB dan juga untuk komunikasi serial dengan komputer atau perangkat host USB lainnya.

2.2.4 Sensor Suhu DHT22

Gambar 2. 3 DHT22

DHT22 adalah modul sensor digital yang mampu mengukur suhu dan kelembaban secara akurat. Modul ini sering disebut juga AM2302, dan merupakan versi yang lebih presisi dari saudara dekatnya, DHT11. Sensor DHT22 bekerja dengan membaca suhu dan kelembaban lingkungan menggunakan komponen internal berbasis kapasitif (untuk kelembaban) dan thermistor (untuk suhu). Data hasil pembacaan ini kemudian dikirimkan dalam format digital melalui satu pin data ke mikrokontroler (misalnya ESP32 atau Arduino).

Tabel 2. 5 Spesifikasi DHT22

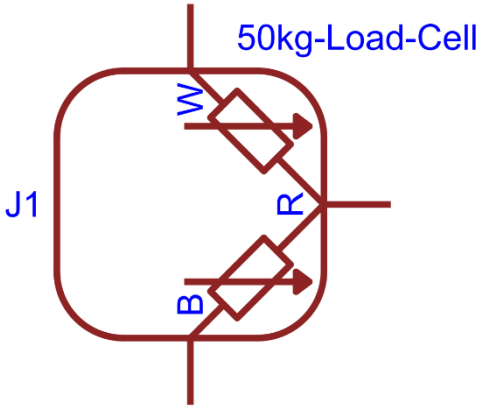
Fitur	Spesifikasi
Tegangan Operasi	3.3V – 6V DC
Rentang Suhu	-40°C hingga +80°C
Akurasi Suhu	±0.5°C
Rentang Kelembaban	0% hingga 100% RH
Akurasi Kelembaban	±2% hingga ±5% RH
Interval Pembacaan	Setiap 2 detik
Output Data	Digital (1-wire)

2.2.5 Sensor *Load Cell*

Load Cell merupakan sebuah transduser yang mengubah berat/tekanan (*force*) menjadi sinyal listrik. Terdapat tiga cara *load cell* mengubah nilai tekanan yang diterima menjadi nilai pengukuran, yaitu *hidraulic load cell*, *pneumatic load cell* dan *strain gauge load cell*. Pada sistem timbangan digital ini digunakan *strain gauge load cell*. Keluaran dari sensor ini berupa tegangan dalam orde mV yang terbaca terhadap perubahan nilai resistansi yang merepresentasikan berat benda.

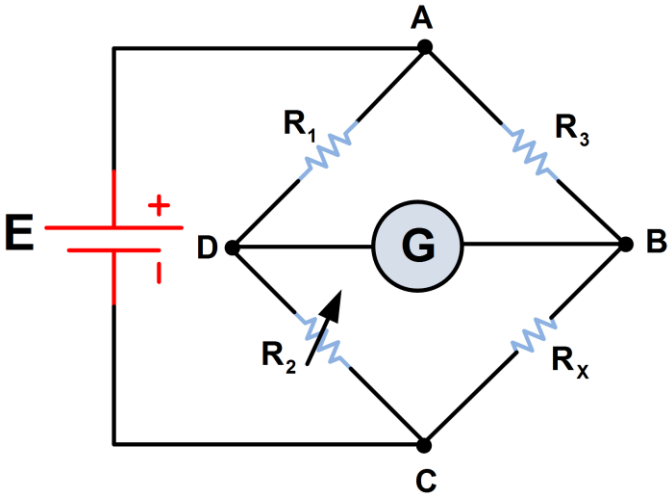
Gambar 2. 4 *Load Cell* 50kg

Load cell yang digunakan pada percobaan ini memiliki tiga kabel (hitam, merah, putih) yang mengukur resistansinya. Ketiga kabel ini mengukur resistansi diantara masing-masing kabel, dengan resistansi antara kabel merah dan hitam adalah resistansi yang berubah-ubah sesuai dengan tekanan yang diterima *load cell*.



Gambar 2. 5 Schematic Load Cell 3 Kabel

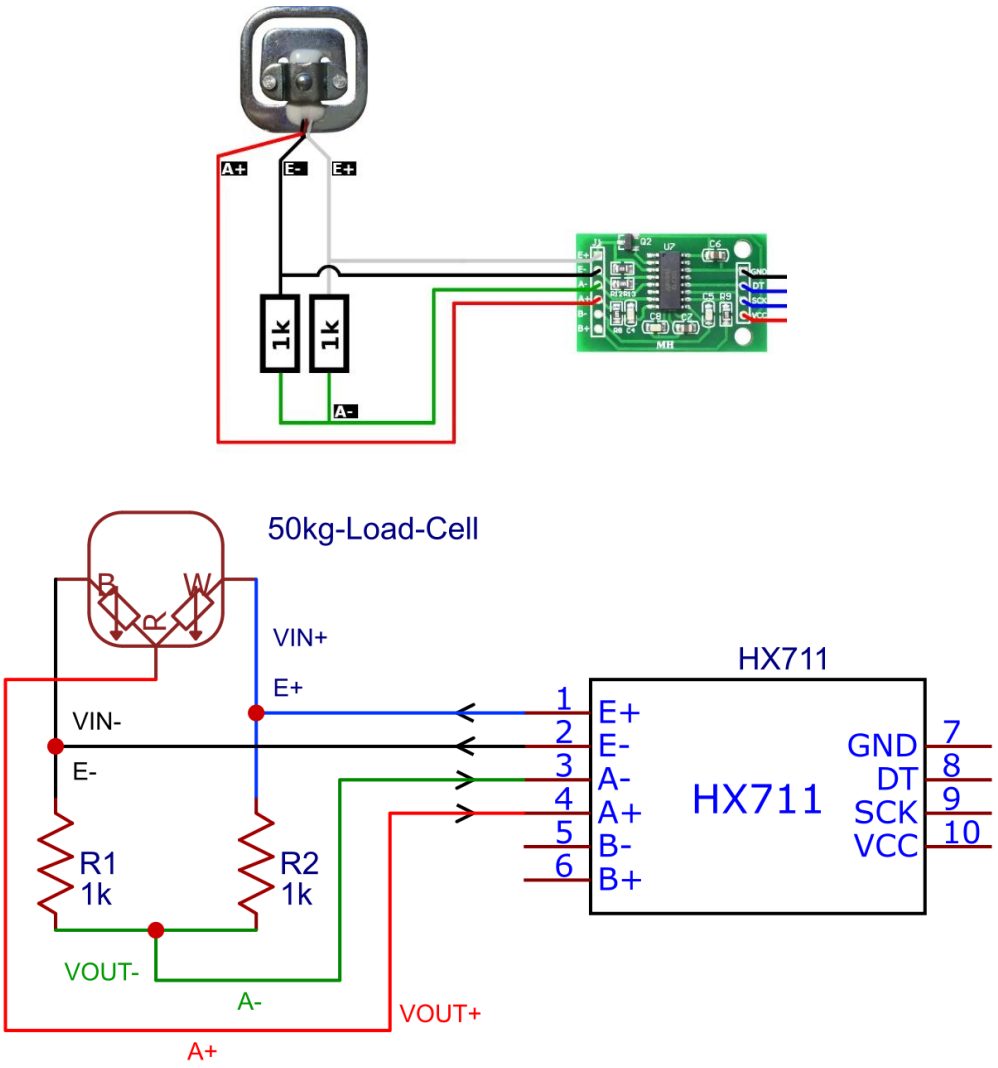
Jembatan Wheatstone (*Wheatstone Bridge*) merupakan suatu metode yang digunakan dalam bidang pengukuran (instrumentasi), dalam hal ini adalah metode yang digunakan untuk pengukuran resistansi. Ditemukan oleh Samuel Hunter Christie tahun 1833 dan kemudian dipopulerkan oleh Sir Charles Wheatstone pada tahun 1843, jembatan wheatstone pada dasarnya menggunakan prinsip keseimbangan dalam rangkaian. Dalam rangkaiannya terdapat 4 buah resistor dimana ke-4 resistor tersebut adalah resistor variabel, resistor yang ingin diukur, dan 2 buah resistor tetap.



Gambar 2. 6 Rangkaian Jembatan Wheatstone

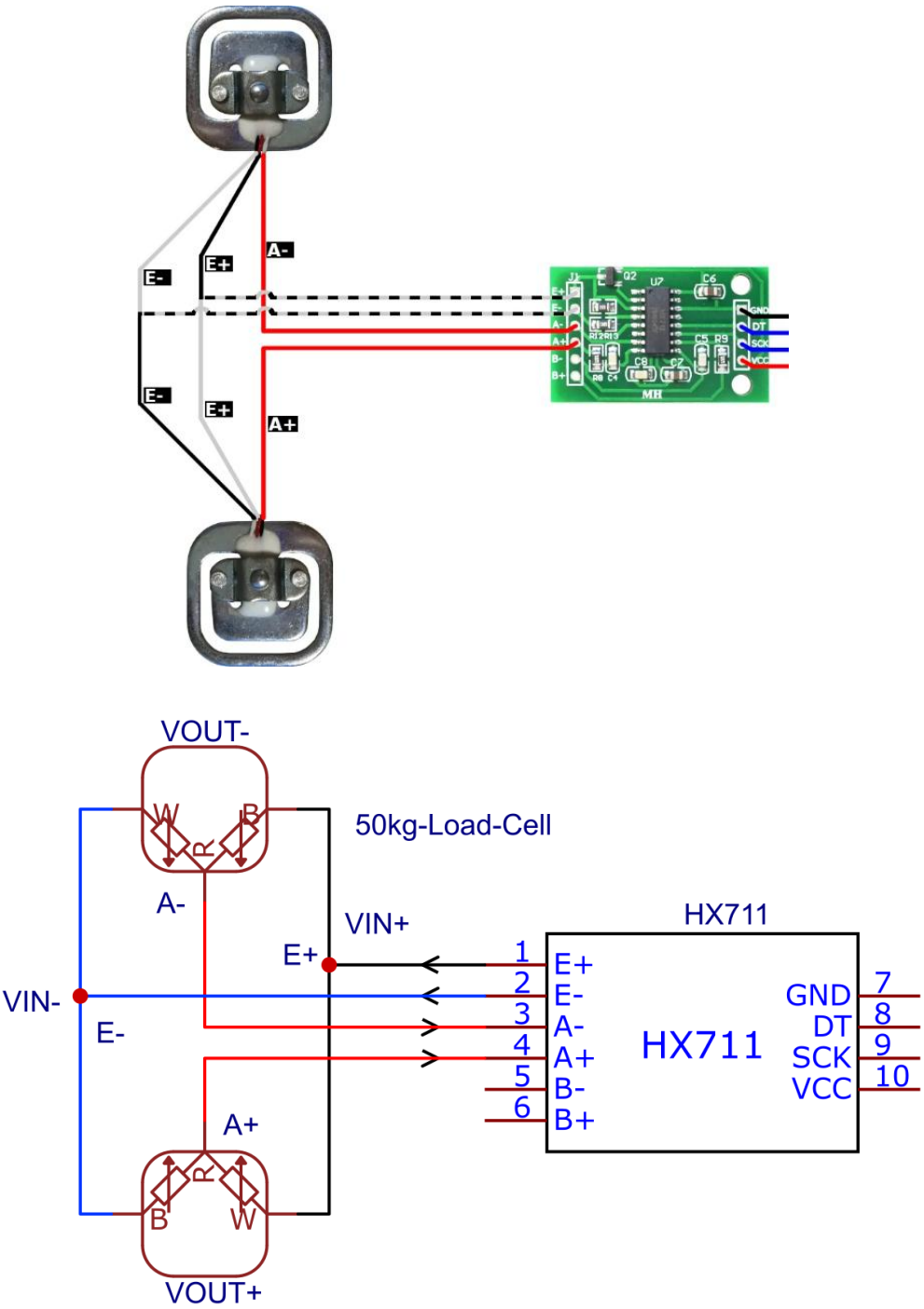
Load cell harus dipasangkan dengan modul HX711 karena sinyal listrik yang dihasilkan *load cell* sangat kecil (orde milivolt) dan berbentuk analog, sehingga tidak dapat langsung dibaca dengan akurat oleh mikrokontroler seperti ESP32. HX711 berfungsi sebagai amplifier (penguat) dan konverter 24-bit Analog-to-Digital (ADC) yang meningkatkan presisi serta menstabilkan pembacaan data beban. Modul HX711 dirancang untuk membaca perbedaan tegangan dari sebuah full-bridge (empat titik koneksi). Load Cell 3 kabel ini hanyalah sebuah *half-bridge* sehingga pengguna harus membuat rangkaian Wheatstone Bridge sendiri. Berikut merupakan beberapa pemakaian jumlah load cell dan rangkaiannya:

1. Rangkaian Load Cell 1 × 50kg



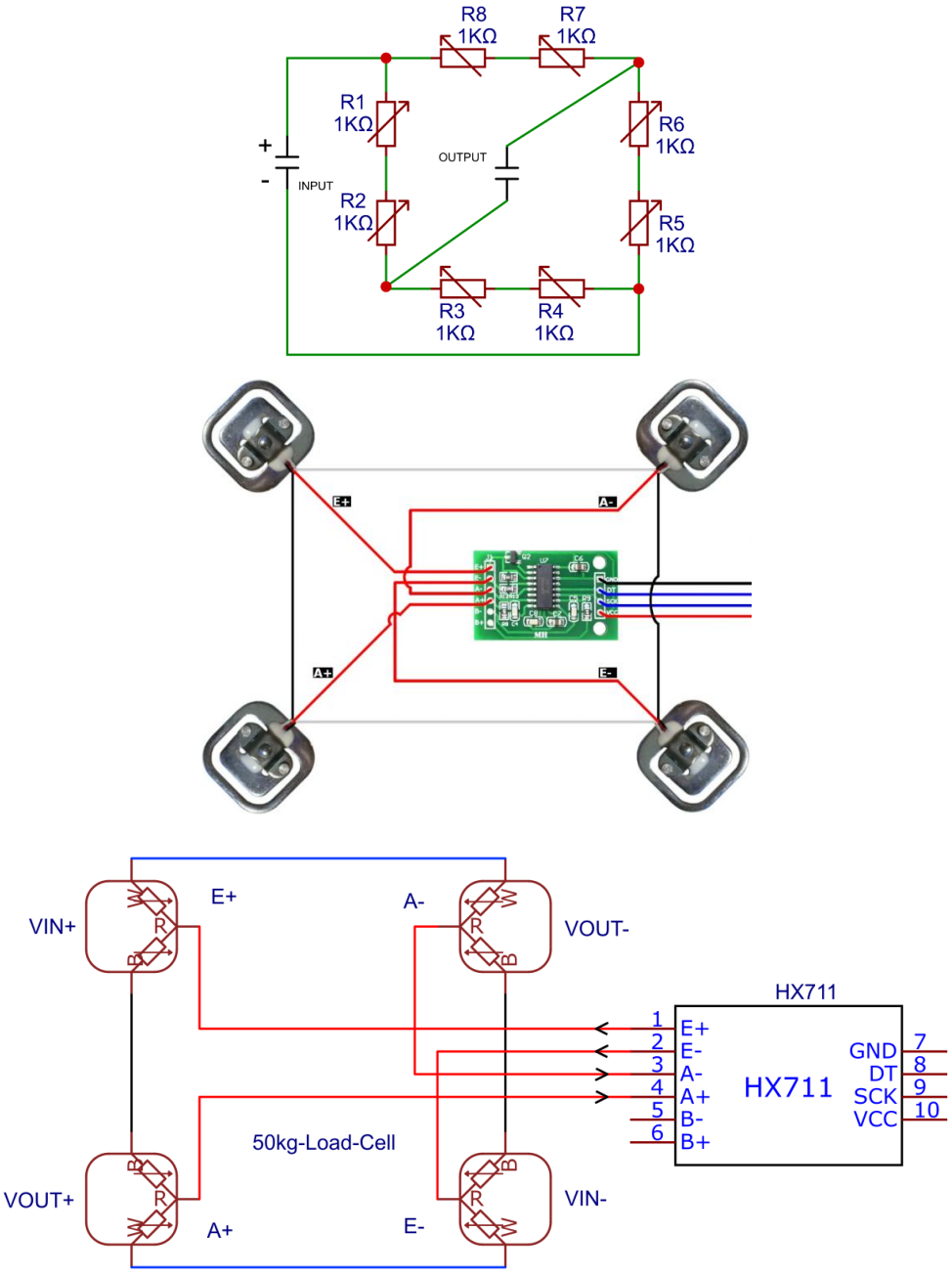
Gambar 2. 7 Rangkaian Load Cell 1 × 50kg

2. Rangkaian Load Cell 2 × 50kg



Gambar 2. 8 Rangkaian Load Cell 2 × 50kg

3. Rangkaian Load Cell 4 × 50kg



Gambar 2. 9 Rangkaian Gabungan Load Cell 3 Kabel

Dapat dilihat bahwa kabel hitam dan kabel putih masing-masing sel dihubungkan secara diagonal. Keempat keluaran dari load cell ini (E+, E-, A+, dan A-) adalah input bagi HX711 yang akan menjadi amplifier dari tegangan hasil perubahan resistensi load cell. Adapun E+ dan E- adalah eksitasi (daya), sedangkan A+ dan A- adalah output sinyal (data). Kemudian sisi output HX711 dihubungkan

ke ESP32. GND dihubungkan ke GND ESP32, Vcc ke 5V, Dout ke digital pin D26, dan SCK ke digital pin D27. VCC dan GND berguna untuk memberi tegangan bagi HX711, sedangkan Dout dan SCK memberikan nilai digital untuk diproses ESP32 menjadi nilai berat.

2.2.6 Modul HX711

HX711 adalah sebuah komponen terintegrasi dari HX711 presisi 24-bit *analog to digital conventer* (ADC) yang didesain untuk sensor timbangan digital dan industrial control aplikasi yang terkoneksi sensor jembatan. HX711 adalah modul timbangan, yang memiliki prinsip kerja mengkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. Modul melakukan komunikasi dengan computer/mikrokontroller melalui TTL232. Struktur yang sederhana, mudah dalam penggunaan, hasil yang stabil dan reliable, memiliki sensitivitas tinggi, dan mampu mengukur perubahan dengan cepat. Spesifikasinya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 6 Spesifikasi HX711

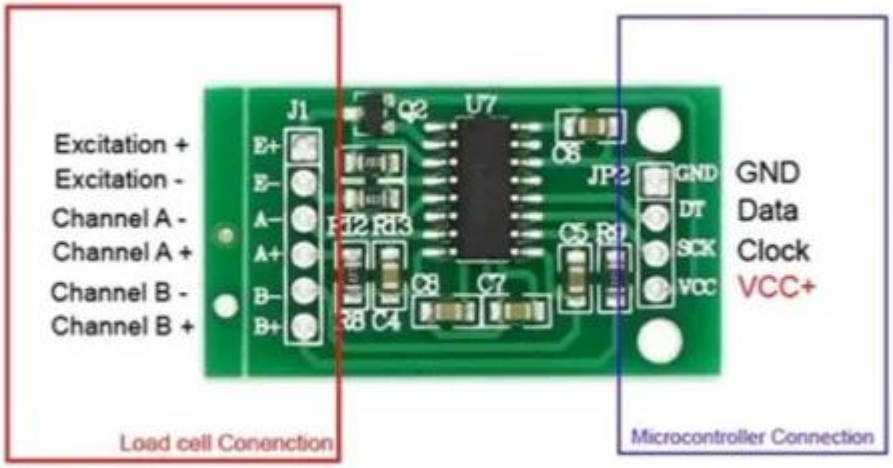
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan input diferensial	± 40mV
Akurasi data	24 bit (chip konverter A / D 24).
Frekuensi	80 Hz
Tegangan Pengoperasian	5V DC
Operasi saat ini	<10 mA
Ukuran	38mm * 21mm * 10mm

Keterangan setiap pin pada modul HX711 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 7 Pin Out HX711

Pin	Keterangan
E+	Tegangan Input (+)
E-	Ground Sensor (-)

Pin	Keterangan
A-	Ch. A Negative Input (analog input)
A+	Ch. A Positive Input (analog input)
B-	Ch. B Negative Input (analog input)
B+	Ch. B Positive Input (analog input)
GND	Dihubungkan ke ground
DT	Digital Output
SCK	Digital Input
VCC	Dihubungkan ke tegangan +5V



Gambar 2. 10 Modul HX711

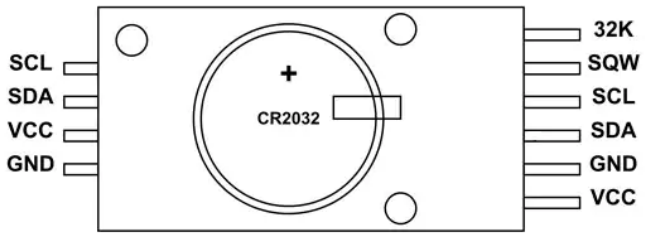
2.2.7 RTC DS3231

Gambar 2. 11 RTC DS3231

RTC DS3231 adalah sebuah modul Real Time Clock (RTC) berpresisi tinggi yang digunakan untuk menyimpan dan menjaga informasi waktu dan tanggal secara akurat, meliputi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun, bahkan ketika mikrokontroler dalam keadaan mati atau direset. IC ini telah terintegrasi dengan osilator kristal dan sistem kompensasi suhu *temperature-compensated crystal oscillator* (TCXO) di dalam satu chip, sehingga mampu meminimalkan kesalahan pencatatan waktu akibat perubahan suhu lingkungan. Komunikasi antara DS3231 dan mikrokontroler, seperti Arduino maupun ESP32, menggunakan protokol I2C dengan jalur SDA (*Serial Data*) dan SCL (*Serial Clock*) sehingga hanya membutuhkan sedikit pin untuk dihubungkan. Modul ini umumnya dilengkapi baterai cadangan jenis kancing (misalnya CR2032) yang memungkinkan pencatatan waktu tetap berjalan meskipun sumber daya utama 5V atau 3,3V terputus. DS3231 juga memiliki register internal yang menyimpan data dalam format BCD (*Binary Coded Decimal*) serta menyediakan fitur alarm yang dapat diatur untuk memicu suatu kejadian pada waktu tertentu. Dalam penerapannya pada sistem kendali dan pemantauan, seperti pada proyek kandang DOC berbasis ESP32, RTC DS3231 berperan penting dalam memberikan penanda waktu (*timestamp*) pada setiap data sensor serta mendukung penjadwalan otomatis, sehingga data yang dihasilkan lebih terstruktur, dapat ditelusuri berdasarkan hari dan jam, serta mendukung analisis pertumbuhan dan kondisi lingkungan secara lebih akurat.

Modul RTC memiliki total 10 pin yang memiliki fungsi berbeda, masing-masing berkontribusi pada pengoperasian perangkat yang tepat.

1. VCC: Untuk memberi catu daya ke modul, pin ini digunakan dan dihubungkan ke pin 3.3V atau 5V.
2. GND: Ini adalah pin ground dan terhubung ke pin ground mikrokontroler.
3. SDA dan SCL: Ini adalah pin Data Serial dan pin clock Serial yang digunakan dalam komunikasi serial I2C dan terhubung dengan pin I2C mikrokontroler.
4. SQW: Pin Gelombang Persegi ini digerakkan pada 1Hz, 4kHz, 8kHz atau 32kHz dan ditangani secara terprogram.
5. 32K: RTC DS3231 menggunakan kristal eksternal berfrekuensi 32 kHz yang memberikan output jam referensi yang stabil dan akurat.



Gambar 2. 12 Pin Out RTC DS3231

2.2.8 LCD 20×4

LCD 20×4 adalah modul tampilan karakter yang terdiri dari 20 kolom dan 4 baris, sehingga mampu menampilkan hingga 80 karakter teks dalam satu waktu. Modul ini umumnya menggunakan pengendali berbasis standar HD44780 yang bekerja dengan prinsip tampilan dot matrix di mana setiap karakter dibentuk dari susunan titik (biasanya 5×8 dot). LCD 20x4 memiliki dua jenis register, yaitu register perintah (*command register*) untuk mengatur konfigurasi tampilan seperti menghapus layar, mengatur posisi kursor, mode penulisan, dan sebagainya serta register data untuk menerima kode ASCII karakter yang akan ditampilkan pada layar. Secara elektrik, LCD ini dapat dihubungkan ke mikrokontroler menggunakan antarmuka paralel 8-bit atau 4-bit, namun dalam praktiknya sering dipasangkan dengan modul tambahan I2C (misalnya berbasis IC PCF8574) sehingga jumlah pin yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit, cukup menggunakan jalur SDA dan SCL. Pada bagian belakang LCD terdapat lampu latar (*backlight*) yang berfungsi untuk menerangi tampilan agar teks mudah dibaca, serta potensiometer untuk mengatur tingkat kontras karakter. Dalam sistem kendali dan pemantauan berbasis mikrokontroler, seperti pada rancangan kandang DOC dengan ESP32, LCD 20×4 berperan sebagai media antarmuka pengguna (*user interface*) untuk menampilkan informasi penting secara real-time, misalnya waktu dari RTC DS3231, suhu dan kelembapan dari sensor DHT22, berat hasil pembacaan load cell, serta status kerja sistem, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kandang secara langsung tanpa perlu terhubung ke perangkat lain.

Gambar 2. 13 LCD 20×4

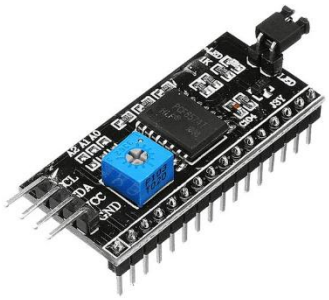
Tabel 2. 8 Spesifikasi LCD 20×4

Spesifikasi	Keterangan
Dimensi Garis Besar	98 (L) * 60 (W) * Maks 13.2 (T) mm
Area tampilan	77 (L) * 25.2 (W) mm
Kontrol IC	SPLC780D
Tipe tampilan	20 karakter x 4 baris
Jenis LCD	STN, NEGATIF (BIRU), TRANSMISI
Kondisi Pengemudi	Modul LCD : 1 / 16Duty, 1 / 5Bias
Antarmuka	Antarmuka MPU 8-bit
Melihat arah	jam 6
Jenis lampu latar	WHIET SISI
VOP	4.2V
Suhu Operasional	-20 ~ 70 ℃
Suhu Penyimpanan	-30 ~ 80 ℃

2.2.9 Modul I2C

Modul I2C adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran yangdidesain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Sistem I2C terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Piranti yang dihubungkan dengan sistem I2C Bus dapat dioperasikan sebagai *Master* dan *Slave*. *Master* adalah piranti

yang memulai transfer data pada I2C Bus dengan membentuk sinyal *Start*, mengakhiri transfer data dengan membentuk sinyal Stop, dan membangkitkan sinyal clock. *Slave* adalah piranti yang dialamati *master*.



Gambar 2. 14 I2C

Spesifikasi:

1. Tegangan kerja: +5V2.
2. Mendukung protokol I2C, coding lebih singkat.
3. Dilengkapi Trimpot pengatur lampu dan kontras layer.
4. Hanya 4 pin utk pengendalian (SDA, SCL, VCC dan GND).
5. Device Address: 0x27 atau 0x3F.
6. Dapat digunakan untuk LCD 16x2 ataupun 20x4.
7. Ukuran: 41.5x19x15.3mm

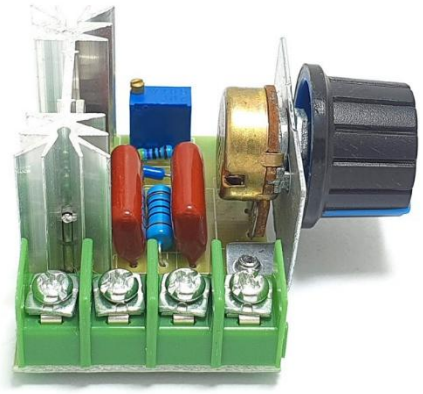
Konfigurasi pin out modul I2C converter antara lain sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Pin Out I2C

Nama Pin	**Jenis Pin**	**Deskripsi Pin**
GND	Power	Ground
VCC	Power	Tegangan Input
SDA	I2C Data	Serial Data
SCL	I2C Clock	Serial Clock
A0	Jumper	I2C Address Selection 1
A1	Jumper	I2C Address Selection 2
A2	Jumper	I2C Address Selection 3
Blacklight	Jumper	Control Backlight of Panel

2.2.10 Dimmer AC

Dimmer AC adalah suatu rangkaian atau modul elektronika yang berfungsi untuk mengatur besar kecilnya daya listrik AC yang disuplai ke beban, seperti lampu pijar, elemen pemanas, atau motor AC, dengan cara mengubah nilai tegangan efektif yang diterima beban tersebut. Pengaturan ini umumnya dilakukan menggunakan komponen semikonduktor daya seperti TRIAC yang dikendalikan melalui metode pengendalian sudut fasa (*phase angle control*), yaitu menunda saat penghantaran arus dalam setiap siklus gelombang sinus AC. Semakin besar sudut tunda pemicuan, semakin sedikit bagian gelombang yang dihantarkan ke beban sehingga daya yang diterima beban berkurang (lampu menjadi lebih redup atau pemanas menjadi kurang panas), dan sebaliknya. Dalam praktiknya, dimmer AC sering dilengkapi rangkaian pendukung seperti DIAC sebagai pemicu TRIAC, rangkaian deteksi zero-cross untuk sinkronisasi dengan gelombang AC, serta kadang dihubungkan dengan mikrokontroler melalui optoisolator agar pengaturan daya dapat dilakukan secara otomatis dan tetap aman. Pada sistem kendali suhu kandang DOC berbasis ESP32, dimmer AC digunakan untuk mengatur intensitas nyala lampu pijar sebagai sumber panas, sehingga suhu kandang dapat disesuaikan secara bertahap sesuai kebutuhan tanpa harus mematikan atau menyalakan lampu secara penuh (*on*/*off*) saja.



Gambar 2. 15 Dimmer AC

2.2.11 Lampu Pijar

Gambar 2. 16 Lampu Pijar

Lampu pijar adalah jenis lampu listrik yang menghasilkan cahaya melalui pemijaran filamen logam di dalam bola kaca tertutup. Di dalam lampu pijar terdapat kawat filamen (biasanya terbuat dari tungsten) yang dialiri arus listrik sehingga menjadi sangat panas hingga berpijar dan memancarkan cahaya. Ruang di dalam bola kaca umumnya diisi gas inert atau dibuat vakum untuk mencegah filamen cepat terbakar. Lampu pijar bekerja dengan tegangan AC maupun DC dan memiliki karakteristik menghasilkan cahaya yang cenderung hangat (kekuningan) serta panas yang cukup besar, sehingga selain sebagai sumber penerangan, lampu ini juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalor. Dalam aplikasi kandang DOC, lampu pijar sering digunakan sebagai sumber pemanas karena mampu menaikkan suhu lingkungan di sekitar anak ayam sambil tetap memberikan sedikit penerangan, meskipun dari sisi efisiensi energi lampu pijar relatif boros dibandingkan teknologi lampu modern seperti LED.

2.2.12 *Mean Absolute Error* (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) adalah metrik evaluasi yang mengukur rata-rata dari nilai absolut kesalahan antara nilai prediksi dan nilai aktual. MAE merupakan salah satu metrik yang paling sederhana dan mudah dipahami dalam mengevaluasi kinerja model prediksi, karena mengukur besarnya rata-rata kesalahan tanpa mempertimbangkan arah kesalahannya.

Rumus untuk menghitung MAE adalah:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i|$$

MAE memiliki beberapa karakteristik penting. Pertama, memberikan bobot yang sama untuk semua kesalahan tanpa memandang besarnya. Kedua, mudah dipahami karena memiliki satuan yang sama dengan data asli. Ketiga, robust terhadap outlier dibandingkan metrik kuadrat. Keempat, selalu bernilai non-negatif dengan nilai terbaik adalah nol.

Interpretasi MAE cukup straightforward: semakin kecil nilainya, semakin baik kinerja model. Nilai MAE yang mendekati nol menunjukkan prediksi model sangat dekat dengan nilai aktual. Misalnya, jika MAE = 5 pada prediksi harga dalam rupiah, maka rata-rata kesalahan prediksi adalah Rp 5.

Kelebihan MAE yaitu mudah dipahami dan diinterpretasikan, memiliki satuan sama dengan data asli, tidak sensitif terhadap outlier, dan memberikan gambaran kesalahan rata-rata secara langsung. Kekurangannya adalah tidak memberikan informasi arah kesalahan, tidak memberikan penalti lebih besar untuk kesalahan besar, sulit untuk optimasi matematis karena tidak diferensiabel di titik nol, dan tidak memberikan informasi tentang variabilitas kesalahan.

MAE cocok digunakan ketika semua kesalahan memiliki bobot kepentingan yang sama, outlier tidak boleh mendominasi evaluasi, interpretasi mudah sangat penting, dan satuan kesalahan perlu dikomunikasikan secara eksplisit.

2.2.13 *Root Mean Square Error* (RMSE)

Root Mean Square Error (RMSE) adalah metrik yang menghitung akar kuadrat dari rata-rata kuadrat kesalahan antara nilai prediksi dan nilai aktual. RMSE memberikan penalti lebih besar terhadap kesalahan prediksi yang besar karena menggunakan proses pengkuadratan.

Rumus untuk menghitung RMSE adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Karakteristik RMSE yaitu memberikan penalti lebih besar untuk kesalahan besar (kesalahan 10 unit memberikan kontribusi 100, sementara dua kesalahan 5 unit hanya 50), memiliki satuan sama dengan data asli, lebih sensitif terhadap outlier dibandingkan MAE, dan selalu bernilai non-negatif.

RMSE selalu lebih besar atau sama dengan MAE. Jika RMSE jauh lebih besar dari MAE, ini menunjukkan adanya beberapa kesalahan yang sangat besar. Jika RMSE mendekati MAE, kesalahan memiliki magnitudo yang relatif seragam. Rasio RMSE/MAE memberikan informasi tentang variasi kesalahan.

Kelebihan RMSE adalah memberikan penalti lebih besar untuk kesalahan besar, memiliki satuan sama dengan data asli, diferensiabel sehingga cocok untuk optimasi, dan memiliki sifat statistik yang baik. Kekurangannya sangat sensitif terhadap outlier, lebih sulit diinterpretasikan dibandingkan MAE, dapat menyesatkan jika terdapat outlier, dan perbedaan RMSE antar model sulit diinterpretasikan tanpa konteks.

RMSE cocok digunakan ketika kesalahan besar harus dihindari dan lebih penting diminimalisir, dalam optimasi model machine learning berbasis gradient, ketika diperlukan metrik sensitif terhadap variabilitas kesalahan, dan dalam aplikasi forecasting di mana konsistensi sangat penting.

2.2.14 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah metrik yang mengukur rata-rata nilai absolut persentase kesalahan antara nilai prediksi dan nilai aktual. MAPE mengekspresikan akurasi dalam bentuk persentase, sehingga mudah dipahami dan bersifat scale-independent.

Rumus untuk menghitung MAPE adalah:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \times 100\%$$

Karakteristik MAPE yaitu dinyatakan dalam persentase sehingga mudah dipahami, tidak bergantung pada skala data sehingga dapat membandingkan model pada dataset berbeda, dan menunjukkan kesalahan relatif terhadap nilai aktual.

Interpretasi umum MAPE yaitu kurang dari 10% = akurasi sangat baik, 10-20% = akurasi baik, 20-50% = akurasi cukup, lebih dari 50% = akurasi kurang baik. Namun interpretasi ini bersifat kontekstual dan dapat bervariasi tergantung domain aplikasi.

Kelebihan MAPE sangat mudah dipahami dalam bentuk persentase, scale-independent sehingga ideal untuk perbandingan lintas dataset, memungkinkan perbandingan multiple products atau services, dan intuitif karena menunjukkan kesalahan sebagai proporsi nilai aktual. Kekurangannya tidak dapat digunakan jika nilai aktual nol atau mendekati nol, memberikan penalti tidak seimbang untuk kesalahan positif dan negatif, memberikan nilai sangat besar jika nilai aktual sangat kecil, bias terhadap prediksi lebih rendah dari nilai aktual, dan dapat menyesatkan jika distribusi nilai sangat beragam.

MAPE cocok digunakan untuk membandingkan model pada dataset dengan skala berbeda, komunikasi dengan stakeholder non-teknis, aplikasi bisnis di mana kesalahan persentase lebih relevan, dan ketika data tidak mengandung nilai nol atau mendekati nol.

2.2.15 Simpangan Baku (*Standard Deviation*)

Simpangan baku adalah ukuran statistik yang menunjukkan tingkat dispersi atau penyebaran data dari nilai rataratanya. Dalam evaluasi model, simpangan baku mengukur variabilitas kesalahan prediksi dan konsistensi performa model.

Rumus simpangan baku berbeda untuk populasi dan sampel:

Simpangan Baku Populasi:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2}$$

Simpangan Baku Sampel:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

Karakteristik simpangan baku yaitu mengukur penyebaran data dari rata-rata

(nilai besar = data tersebar, nilai kecil = data terkonsentrasi), memiliki satuan sama dengan data asli, selalu non-negatif (nilai nol = tidak ada variasi), dan sensitif terhadap outlier karena menggunakan kuadrat deviasi.

Dalam evaluasi model, simpangan baku digunakan untuk mengukur konsistensi kesalahan prediksi (simpangan baku rendah = performa konsisten), menilai variabilitas data aktual, dan membandingkan stabilitas performa pada berbagai subset data.

Interpretasi simpangan baku menggunakan empirical rule (untuk distribusi normal): sekitar 68% kesalahan dalam satu simpangan baku dari rata-rata, sekitar 95% dalam dua simpangan baku, dan sekitar 99.7% dalam tiga simpangan baku. Rasio simpangan baku kesalahan terhadap simpangan baku data yang kecil menunjukkan model yang baik.

Kelebihan simpangan baku yaitu memberikan informasi variabilitas yang tidak dapat diperoleh dari metrik kesalahan rata-rata, memiliki satuan sama dengan data asli, berguna untuk memahami distribusi kesalahan, dapat digunakan bersama rata-rata untuk analisis komprehensif, dan memiliki interpretasi probabilistik jika kesalahan berdistribusi normal. Kekurangannya sensitif terhadap outlier, interpretasi lebih sulit dibandingkan range, memerlukan asumsi distribusi normal untuk interpretasi probabilistik akurat, tidak memberikan informasi tentang bias sistematis, dan nilai simpangan baku saja tanpa konteks sulit diinterpretasikan.

Simpangan baku cocok digunakan untuk: menilai konsistensi dan stabilitas performa model, mengidentifikasi masalah dengan prediksi tertentu, analisis time series untuk melihat stabilitas model, membandingkan reliability berbagai model, dan konstruksi prediction intervals.