

BAB II

DASAR TEORI

Kebutuhan pakan ternak unggas di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya, seiring dengan pertumbuhan jumlah populasi ayam ras. Data dari Badan Pusat Statistik memperlihatkan tren produksi ayam ras dari tahun 2020 hingga 2024 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Data Produksi Ayam Ras di Indonesia tahun 2020-2024 [7].

Tahun	Total Produksi (Ton)	Pertumbuhan (%)
2020	3.219.117,00	-
2021	3.185.698,48	-1,04
2022	3.765.573,09	18,21
2023	3.997.652,70	6,16
2024	3.835.917,00	-4,05

Dapat dilihat pada **Tabel 2.1** Bahwa data Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, produksi daging ayam ras di Indonesia meningkat 19,18% dalam lima tahun terakhir (2020–2024) [7]. Pada 2025, Kementerian Pertanian juga mendorong peningkatan produksi untuk mendukung program Makan Bergizi Gratis (MBG). Peningkatan ini berdampak pada naiknya kebutuhan pakan sebesar 20–25%, seiring pertumbuhan populasi ayam. Oleh karena itu, kualitas pakan ternak perlu terus ditingkatkan guna mendukung produktivitas secara optimal [8].

Permasalahan kontaminasi logam pada pakan ternak harus diperhatikan agar produk pakan ternak yang dihasilkan dapat membantu menghasilkan produk ayam yang sehat. Setiap perusahaan pengelola pakan ternak harus merujuk ISO-9001 yang membahas tentang mutu kualitas pakan yang baik. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) no. 7387 tahun 2009 tentang batas maksimum kontaminasi logam berat dalam pangan, Nilai ambang batas cemaran logam Pb, Fe, dan Mg dalam pakan 0,05 mg/kg dalam bahan pangan [9]. Toksisitas logam pada manusia dapat menyebabkan timbulnya kerusakan jaringan detoksikasi dan ekskresi (hati dan ginjal). Maka dari itu, diperlukan alat yang dapat memisahkan atau menurunkan kadar logam yang ada pakan ternak agar sesuai dengan standar [10].

Alat pada proyek tugas akhir ini berperan untuk mencegah adanya kontaminasi fisik logam pada pakan ternak. Inovasi alat ini didapat dari beberapa referensi mengenai penelitian yang mirip mengenai topik yang diangkat, diantaranya adalah “Rancang Bangun Alat Pemisah Pasir Besi Portable”. Jurnal ini membahas penggunaan drum magnet sebagai alat pemisah pasir besi. Jurnal ini berkaitan dengan perancang *magnetic drum separator*, perancangannya untuk melakukan pemisahan logam dibutuhkan penarik seperti magnet agar terpisah dari pakan ternak. Namun, sistem pengoperasian alat ini masih secara manual, khususnya dalam pemutaran drum magnet [6]. Jurnal lainnya berjudul “Pemisah Material Magnet dan Non Magnet pada Pasir Timah dengan *Magnetic drum Separator*”. Jurnal ini pembahasan perancangan alat pemisah material magnet dan non magnet pada pasir timah menggunakan *magnetic drum separator* yang dilengkapi dengan sensor load cell sebagai pengukur berat hasil keluaran [11]. Referensi tersebut menjadi dasar dalam pengembangan alat yang penulis rancang. Alat yang dirancang dapat bekerja secara otomatis dengan mengintegrasikan sensor, aktuator dan kontroler. Perancangan alat pemisah logam dengan *Magnetic drum Separator* melibatkan berbagai komponen pendukung. Pada Bab II Dasar Teori membahas mengenai spesifikasi dari masing masing komponen tersebut. Dalam tugas akhir ini, Arduino Mega 2560 berperan sebagai pengontrol utama yang mengatur proses pemisahan logam melalui integrasi antara input sensor dan output aktuator.

2.1 Pakan Ternak

Pakan ternak adalah bahan makanan organik ataupun anorganik yang dapat diolah maupun tidak diolah dan diberikan kepada hewan untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya guna menunjang kelangsungan hidup tanpa mengganggu kestabilan kesehatannya [12]. Jumlah pakan berpengaruh pada proses pertumbuhan hewan, karena semakin banyak pakan ewyang dikonsumsi, maka semakin cepat proses pertumbuhan yang terjadi pada hewan [13]. Selain itu, pakan juga berperan penting dalam menjaga produksi serta reproduksi hewan karena berpengaruh pada kualitas sperma dari hewan ternak [14]. Pakan yang baik adalah pakan yang mempunyai kandungan yang memadai kualitas dan kuantitasnya seperti energi, vitamin, protein, lemak, karbohidrat dan mineral. Semua kebutuhannya

diperhitungkan dengan tepat dan seimbang sehingga menghasilkan produk daging berkualitas tinggi [15].

Bahan pakan ternak pada umumnya terdiri dari hijauan dan konsentrat. Pada golongan hijauan merupakan bahan pakan yang berasal dari tumbuhan seperti rumput rumputan (*graminae*), kacang-kacangan (*leguminosae*), sisa hasil pertanian (jerami) dan browse (dedaunan). Sedangkan, golongan konsentrat merupakan bahan pakan yang mempunyai gizi tinggi yang tersusun dari beberapa bahan pakan atau salah satu macam bahan pakan seperti jagung, dedak, ubi katu, bungkil kedelai, tepung ikan, ampas tahu [16]. Selain kedua jenis tersebut, terdapat pula pakan khusus yang diformulasikan secara komersial, seperti pakan komplit. Pakan ini diolah secara modern dengan kandungan nutrisi yang sudah diperhitungkan secara menyeluruh sesuai kebutuhan ternak, sehingga peternak tidak perlu mencampur berbagai jenis pakan. Jenis pakan ini umum digunakan oleh peternak modern karena memudahkan manajemen pemberian pakan [17].

Proses pengolahan pakan ternak dimulai dengan persiapan bahan baku, dilanjutkan dengan proses penggilingan dengan mesin penggiling. Terdapat mesin penggiling yang sering digunakan yaitu *diskmill*, menggunakan lempengan untuk menghancurkan dan merobek bahan pakan, sedangkan *hammermill*, menggunakan palu untuk memukul bahan pakan hingga hancur, dan *rollermill*, menggunakan silinder untuk menekan bahan pakan. Bahan ditimbang dan dicetak sesuai bentuk [18].



Gambar 2. 1 Bentuk Pakan ternak.

Hasil pengolahan pakan dapat dibentuk menjadi beberapa bentuk seperti mash, crumble, dan pellet sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2. 1** [18]. Masing-masing bentuk memiliki fungsi dan karakteristik tersendiri yang disesuaikan dengan kebutuhan fisiologis dan usia ternak hewan. Pakan mash memiliki bentuk

halus menyerupai tepung yang umumnya digunakan untuk hewan ternak muda karena mudah dicerna dan memudahkan penyerapan nutrisi. Meskipun begitu, pakan mash cenderung menghasilkan lebih banyak debu dan dapat menyebabkan pakan mudah tercecer. Bentuk crumble merupakan hasil pecahan dari pakan pellet dan menjadi bentuk transisi antara mash dan pellet. Crumble lebih mudah dikonsumsi dan memiliki palatabilitas yang baik, sehingga cocok digunakan pada fase pertumbuhan hewan. Sementara itu, pakan pellet berbentuk silinder padat yang dihasilkan melalui proses penekanan dan pemanasan. Pellet memiliki kepadatan tinggi, daya simpan lebih baik, dan efisiensi distribusi yang tinggi, sehingga umumnya diberikan pada hewan ternak dewasa .

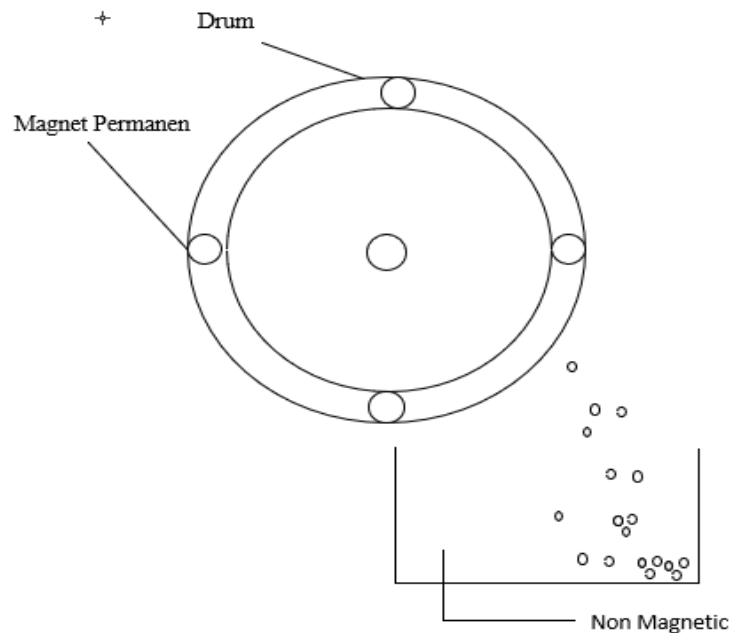
Dalam proyek Tugas Akhir ini, bentuk pakan yang digunakan adalah pakan dalam bentuk mash. Dengan bentuknya yang halus, pakan berpotensi mengalami kontaminasi logam dalam bentuk partikel-partikel logam kecil. Oleh karena itu, dilakukan proses pemisahan logam pada pakan ini untuk menurunkan kadar kontaminan logam untuk menjaga kualitas dan keamanan pakan yang dikonsumsi oleh hewan ternak.

2.2 Magnetic Drum Separator

Magnet atau *magnet* merupakan suatu benda yang memiliki medan magnet yang mampu mempengaruhi dan menarik benda-benda tertentu yang berada di sekitarnya, terutama logam seperti baja, besi, nikel, dan kobalt. Berdasarkan cara terbentuknya, magnet terbagi menjadi dua jenis, yaitu magnet permanen dan magnet buatan. Magnet permanen merupakan magnet yang memiliki sifat magnetik yang tetap dalam waktu yang lama tanpa memerlukan energi tambahan, contohnya magnet yang terbuat dari bahan *neodymium*, *alnico*, *kobalt*, *samarium cobalt*. Sedangkan magnet sementara adalah magnet yang dibuat dengan cara mengalirkan arus listrik melalui kawat penghantar jika aliran arus diberhentikan, maka sifat magnet hilang kembali [19].

Magnetic Drum Separator adalah perangkat keras yang digunakan untuk proses pemisahan material atau lebih dengan material lainnya berdasarkan perbedaan sifat kemagnetan. Material yang tertarik oleh medan magnet dikelompokkan sebagai material magnetik sedangkan material yang tidak tertarik oleh medan magnet dikelompokkan sebagai material non magnetik. Proses pemisahan terjadi karena

adanya interaksi antara medan magnet dan material yang melewati drum berputar, dimana benda yang mengandung magnetik akan tertarik dan ditahan oleh medan magnet, sementara benda non magnetik jatuh secara alami akibat gaya gravitasi [20].



Gambar 2. 2 Ilustrasi simulasi *Magnet drum Separator* untuk pemisah material logam dan non logam.

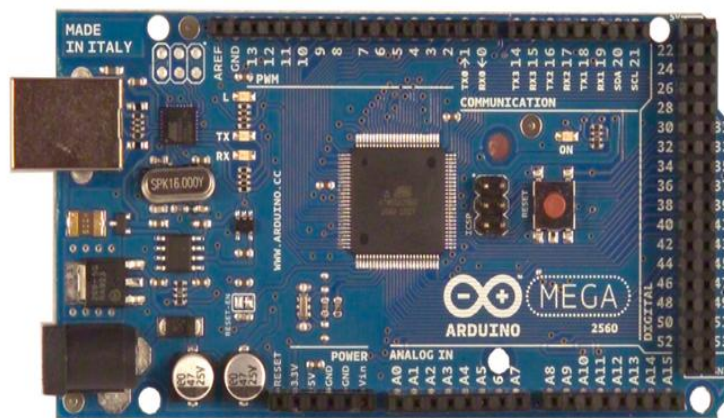
Pada **Gambar 2. 2** menunjukkan sistem drum magnetik yang digunakan dalam penelitian ini, di mana sejumlah magnet permanen dipasang secara menyebar pada bagian keliling luar drum. Magnet ini menyatu langsung dengan permukaan drum, sehingga akan ikut berputar saat drum digerakkan oleh motor DC. Cara kerjanya dimulai saat material pakan ternak dialirkan dari *hopper* ke permukaan drum magnet yang sedang berputar. Selama proses ini, material magnetik (seperti serpihan logam atau partikel besi) akan tertarik dan menempel pada bagian drum yang mengandung magnet. Sementara itu, material non-magnetik (seperti biji-bijian atau bahan pakan lainnya) yang tidak tertarik oleh medan magnet akan langsung jatuh ke jalur pakan utama.

Penggunaan sistem drum magnet ini bertujuan untuk mengurangi kontaminasi logam dalam pakan ternak, terutama logam berukuran mikro yang sulit terdeteksi secara kasat mata. Dengan menghilangkan kandungan logam sejak proses awal

proses produksi, maka kualitas pakan dapat terjaga dengan baik sehingga dapat menjaga kesehatan unggas dari risiko keracunan logam berat.

2.3 Sistem Minimum Arduino Mega 2560

Arduino adalah papan atau *kit* rangkaian elektronik *open source* yang disusun oleh beberapa komponen utama yaitu sebuah *chip mikrokontroller*. *Chip mikrokontroller* itu adalah *Integrated Circuit* (IC) yang bisa di program oleh komputer. Tujuan dari pemrograman pada mikrokontroller adalah agar rangkaian dapat membaca *input*, *process* dan *output* dalam sebuah rangkaian elektronik. Arduino dirancang untuk dapat membuat sistem yang dapat mempermudah pekerjaan elektronik pada berbagai bidang [21].



Gambar 2. 3 Komponen Arduino Mega 2560 untuk pengendali kontrol sistem alat pemisah logam.

Pada **Gambar 2. 3**, menunjukan salah satu jenis arduino yang digunakan pada penelitian ini [22]. Arduino Mega 2560 merupakan salah satu jenis keluarga arduino yang menggunakan *chip Atmega 2560* sebagai komponen pengendali utamanya. Arduino tipe ini memiliki jumlah pin paling banyak diantara keluarga arduino lainnya, yaitu memiliki 54 pin digital input/output (I/O) yang terdiri dari 14 pin *Pulse Width Modulation* (PWM) , 16 pin analog *input* dan 4 pin *Port Serial* UART. Memori yang tersedia pada Atmega 2560 sebesar 256KB *flash memory*, 8KB SRAM dan 4KB EEPROM. Dapat di program menggunakan Arduino IDE yang dapat memudahkan pengguna untuk mengendalikannya dalam sistem yang terintegrasi [23].

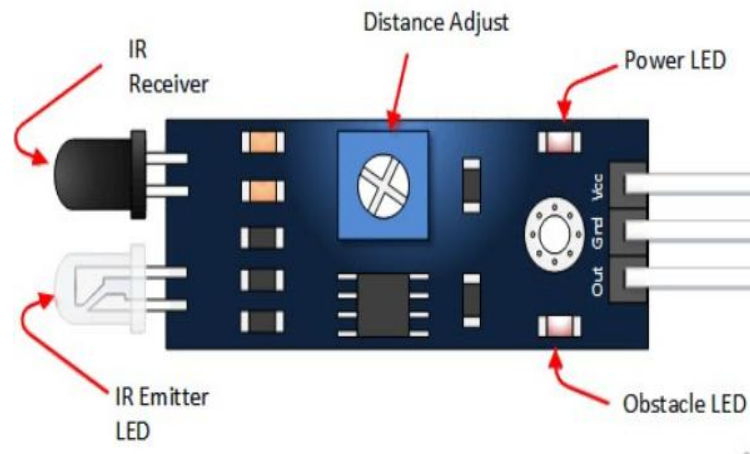
Pada penelitian ini, penulis menjadikan Arduino Mega 2560 sebagai komponen pengendali utama dalam proyek ini karena memiliki kapasitas memori yang lebih besar dibanding jenis arduino lainnya, sehingga mampu mengelola berbagai modul dengan lebih efisien. Selain itu, mempunyai kapasitas koneksi I/O yang lebih banyak menjadikannya sesuai untuk sistem alat pemisah logam yang dimana membutuhkan koordinasi antara sensor, aktuator dan pengendali motor. Spesifikasi lengkap dapat dilihat pada **Tabel 2. 2** .

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Mega 2560.

Spesifikasi mikrokontroler Arduino Mega 2560	
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Masukan	7-12V
Tegangan Batas	6-20V
Pin I/O Digital	54 (14 pin PWM <i>output</i>)
Pin Analog	16
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC 3.3V pin	50 mA
<i>Clock speed</i>	16 Mhz

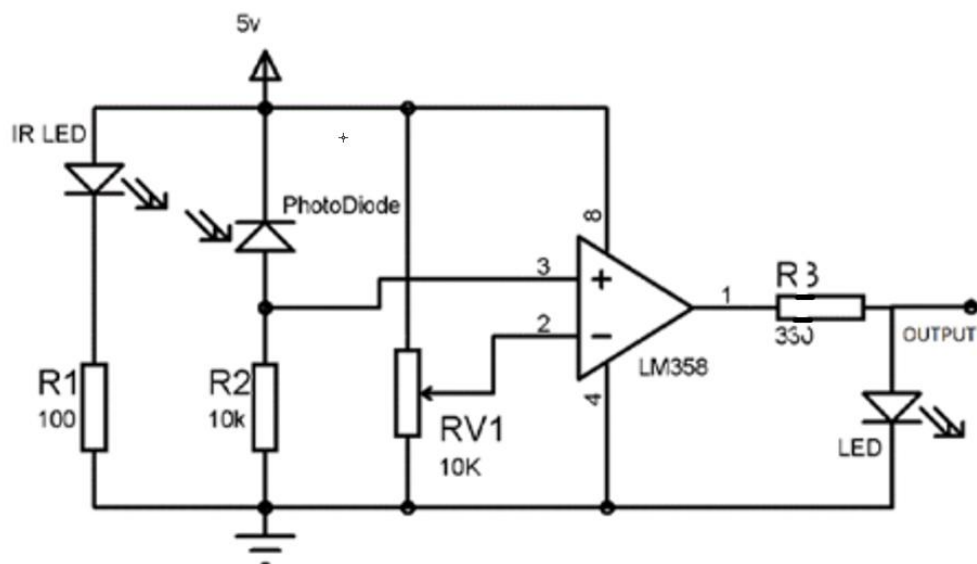
Pada **Tabel 2. 2** ditampilkan spesifikasi dari Arduino Mega 2560, yang merupakan mikrokontroler dengan tegangan operasi sebesar 5V [22].. Arduino ini memiliki 54 pin I/O, di mana 14 di antaranya dapat difungsikan sebagai *output* PWM. Selain itu, tersedia 16 pin analog yang digunakan untuk membaca sinyal dari berbagai jenis sensor. Setiap pin I/O digital mampu mengalirkan arus hingga 40 mA. Arduino Mega 2560 juga dilengkapi dengan frekuensi *clock* sebesar 16 MHz, yang memungkinkan mikrokontroler ini menjalankan instruksi program dengan kecepatan dan respons yang baik.

2.4 Sensor Infra Merah



Gambar 2. 4 Sensor Inframerah digunakan untuk mendeteksi pakan pada *hopper*.

Pada **Gambar 2. 4** menunjukkan IR sensor (Infra Red Sensor) yang merupakan salah satu jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek dengan memanfaatkan pantulan cahaya inframerah [24]. Sensor ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu LED inframerah (*IR Emitter*) yang berfungsi sebagai pemancar cahaya, dan fotodiode (*IR Receiver*) yang berfungsi sebagai penerima cahaya pantul.



Gambar 2. 5 Skematik rangkaian sensor inframerah.

Pada **Gambar 2. 5** menunjukkan rangkaian skematik dari sensor inframerah [24]. Rangkaian ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu IR LED,

photodiode, op-amp LM358 sebagai komparator, dan LED indikator. Dari rangkaian tersebut, dapat diketahui bahwa prinsip kerja sensor ini dimulai saat IR LED memancarkan cahaya inframerah. Jika terdapat objek di depan sensor, cahaya tersebut akan dipantulkan kembali dan diterima oleh photodiode. Photodiode akan mengalami perubahan resistansi sesuai dengan jumlah cahaya IR yang diterima. Ketika cahaya dipantulkan oleh objek dan diterima photodiode, tegangan pada titik input non-inverting (pin 3) op-amp akan berubah. Tegangan referensi pada pin inverting (pin 2) diatur oleh potensiometer RV1 sehingga pengguna bisa mengubah sensitivitas jarak pendeteksian sensor. Kemudian dilanjutkan proses tegangan melalui Op-amp LM358 yang berfungsi sebagai komparator yang membandingkan tegangan dari photodiode dengan tegangan referensi. Jika tegangan pada pin 3 lebih tinggi dari pin 2, maka output op-amp (pin 1) akan HIGH, menyebabkan LED indikator menyala melalui resistor R3 sebagai pembatas arus.

Tabel 2. 3 Spesifikasi sensor inframerah.

Spesifikasi Sensor Inframerah	
Tegangan Operasi	3,3 - 5 V
Arus Operasi	20 mA
Chip Utama	LM393
Frekuensi Operasi	40 Khz
Jarak Jangkauan	2 – 30 Cm
Dimensi	3,2 x 1,4 Cm

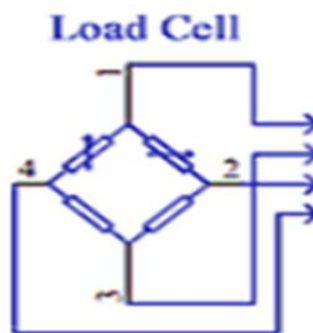
Pada **Tabel 2.3** ditunjukkan spesifikasi dari sensor inframerah yang digunakan pada penelitian ini [25]. Sensor ini beroperasi pada tegangan 3,3 hingga 5 Volt dengan arus sebesar 20 mA, sehingga kompatibel jika dihubungkan dengan kontroller utama sistem ini yaitu arduino mega 2560. Kemudian sensor ini menggunakan chip utama LM393 sebagai komparator yang bekerja pada frekuensi 40 kHz. Jarak jangkauan sensor berkisar antara 2 hingga 30 cm. Terdapat potensiometer pada modul yang digunakan untuk mengatur jarak sensitivitas sensor. Dimensi fisik sensor yang relatif kecil, yaitu 3,2 cm x 1,4 cm sehingga tidak membutuhkan tempat luas untuk diletakkan pada panel box alat.

2.5 Sensor Load Cell



Gambar 2. 6 Sensor Load Cell untuk mengukur berat dari masing masing wadah keluaran pakan.

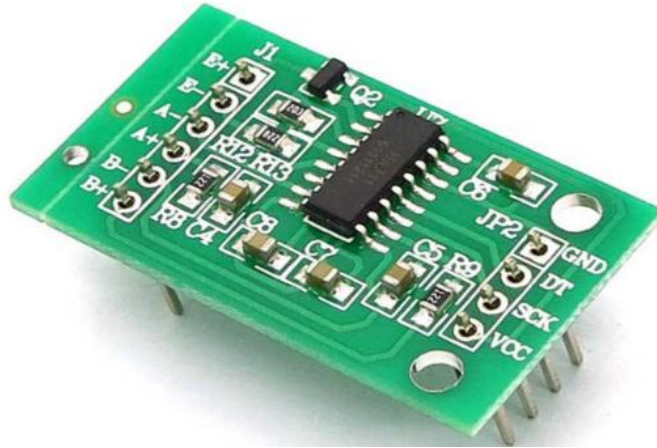
Pada **Gambar 2. 6** menunjukan komponen sensor load cell yang merupakan salah satu *transduser* yang dapat mengubah gaya mekanis (beban) menjadi sinyal listrik. Sensor berfungsi untuk mengukur suatu berat pada objek . Load cell bekerja berdasarkan prinsip *strain gauge*, yaitu mengukur deformasi sebagai perubahan hambatan listrik, yang merupakan ukuran dari beban yang diberikan. *Strain gauge* ini disusun dalam konfigurasi jembatan *wheatstone*, sebuah rangkaian yang sangat sensitif terhadap perubahan resistansi [26].



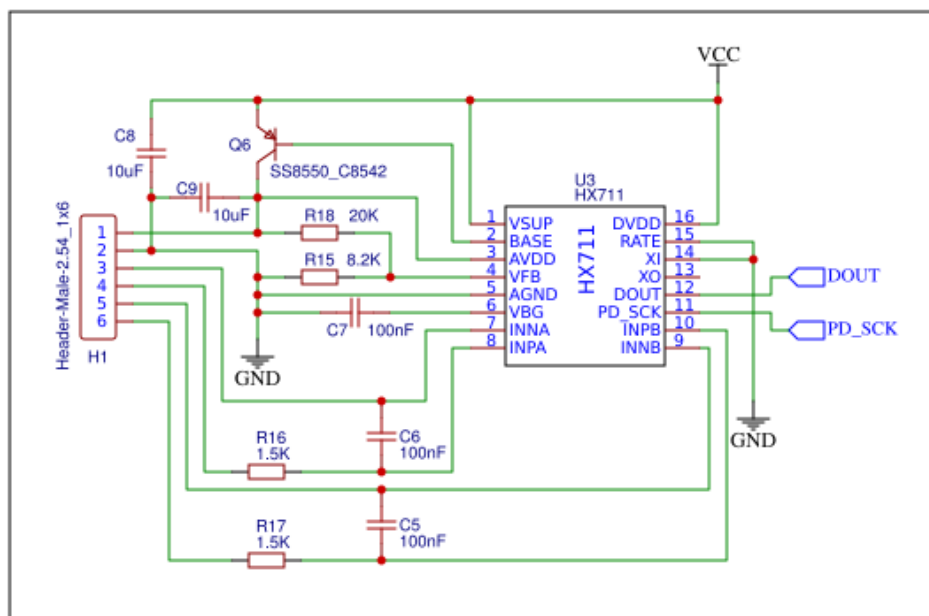
Gambar 2. 7 Skematik rangkaian strain gauge jembatan wheatstone.

Pada **Gambar 2. 7** dapat ditunjukan pemasangan *strain gauge* dengan prinsip jembatan *wheatstone* [27]. Ketika beban diberikan pada sensor, *strain gauge* yang terpasang akan mengalami deformasi elastis. Perubahan bentuk ini menyebabkan perubahan resistansi listrik, yang kemudian menghasilkan sinyal analog. Sinyal analog dari load cell tidak dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler karena

memiliki tegangan yang sangat kecil yaitu $\pm 1\text{mV}$. Oleh karena, digunakan modul tambahan yaitu HX711 yang berfungsi sebagai penguat (*amplifier*) dan konverter analog ke digital (ADC) [28].



Gambar 2. 8 Komponen HX711 yang diugunkana untuk penguat dan ADC sensor loadcell.



Gambar 2. 9 skematik rangkaian listirk loadcell dan HX711.

Pada **Gambar 2. 8** merupakan komponen modul HX711 [29]. Dari **Gambar 2. 9** , Setelah sinyal analog yang dihasilkan oleh load cell terbentuk akibat perubahan resistansi pada jembatan *Wheatstone*, sinyal tersebut selanjutnya dialirkan menuju modul HX711[29]. Pada tahap awal, sinyal analog yang sangat kecil dari load cell akan diperkuat oleh *amplifier* internal HX711 hingga mencapai

level tegangan yang dapat diolah. Selanjutnya, sinyal yang telah diperkuat ini dikonversi menjadi sinyal digital oleh ADC internal dalam modul. Hasil konversi digital ini kemudian dikirimkan secara serial melalui dua pin komunikasi, yaitu pin *Data Output* (DOUT) dan pin *Clock Input* (PD_SCK), menuju mikrokontroler seperti Arduino. Maka dari penambahan modul ini, mikrokontroler dapat membaca dan memproses nilai beban secara akurat berdasarkan perubahan sinyal dari load cell yang telah diolah oleh HX711.

Pada penelitian ini, Penulis menggunakan satu buah sensor load cell untuk mengukur berat hasil proses pemisahan pakan ternak yang dipasang pada bagian bawah wadah keluaran. Selain sebagai alat ukur, sensor load cell dalam sistem ini juga berperan sebagai kontrol batas (*limit control*). Mikrokontroler akan diprogram untuk membaca nilai berat yang terdeteksi. Apabila berat material telah mencapai batas maksimum yang telah ditentukan, maka sistem secara otomatis akan menutup katup *hopper* serta menghentikan perputaran drum magnet untuk mencegah terjadinya kelebihan muatan. Berikut spesifikasi komponen sensor yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2. 4 Spesifikasi Sensor Load cell.

Spesifikasi Sensor Load Cell	
Rekomendasi Tegangan Operasi	3-12 V
Kapasitas Berat	5kg
Tegangan <i>Output</i>	$1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$
<i>Input Impedance</i>	$1115 \pm 10\% \Omega$
<i>Output Impedance</i>	$1000 \pm 10\% \Omega$
Dimensi	12.7 mm x 12.7 mm x 80 mm

Pada **Tabel 2. 4** menunjukkan spesifikasi dari sensor load cell [30]. Tegangan operasi yang direkomendasikan antara 3 hingga 12 volt dan kapasitas maksimal beban sebesar 5 kg. Sensor ini menghasilkan tegangan *output* sebesar $1.0 \pm 0.15 \text{ mV/V}$, yang artinya untuk setiap volt tegangan *input* akan dihasilkan sinyal *output* sekitar 1 milivolt, sehingga diperlukan penguat sinyal agar dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti Arduino. Dimensi fisik sensor adalah $12.7 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$

× 80 mm, sehingga cukup ringkas untuk diintegrasikan ke dalam sistem pemisah logam untuk membantu mengukur keluaran material pada alat.

Sensor perlu dilakukan kalibrasi dalam program yang bertujuan agar nilai pembacaan yang dihasilkan sensor load cell sesuai dengan berat sebenarnya sehingga alat ukur dapat dipercaya. Proses kalibrasi dilakukan dengan menentukan nilai *calibration factor*. Nilai ini merupakan konstanta konversi yang digunakan untuk mengubah output digital dari load cell berupa nilai ADC menjadi berat sebenarnya dalam satuan gram. Nilai *calibration factor* dapat diketahui melalui persamaan berikut:

$$Calibration_{factor} = \frac{Nilai\ ADC\ Pada\ Serial\ Monitor}{Nilai\ Beban\ Sebenarnya(gr)} \quad (2.1)$$

Dari persamaan 2.1, nilai ADC yang dihasilkan oleh sensor dibagi dengan nilai beban sebenarnya (yang sudah diketahui). Hasil perhitungan tersebut dimasukkan ke dalam program menggunakan fungsi *setCalFactor()*. Dengan demikian, sensor dapat menampilkan nilai berat yang sesuai dengan kenyataan.

2.6 Sensor Proximity Hall Effect

Sensor proximity merupakan sensor yang dapat mendeteksi keberadaan objek disekitarnya tanpa memerlukan kontak fisik. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip *hall effect*, yaitu terjadinya kemunculan tegangan listrik pada saat arus listrik terkena medan magnet external. Ketika terdapat objek medan magnet dalam jangkauan area (sensing area), medan magnet tersebut akan memicu efek hall dengan menghasilkan tegangan keluaran. Kemudian tegangan ini diolah oleh rangkaian sensor menjadi sinyal *HIGH* dan *LOW* sebagai indikasi keberadaan objek magnet[31].



Gambar 2. 10 Sensor Proximity *Hall Effect*.

Pada **Gambar 2. 10** menunjukkan sensor proximity *Hall Effect* [32]. Sensor akan ditempatkan sedemikian rupa dengan dengan penanda logam pada bagian komponen yang berputar. Setiap kali medan magnet terdeteksi oleh sensor dihitung sebagai satu siklus putaran. Pulsa ini dikirim ke pin *interrupt* pada mikrokontroler yang akan mencacah jumlah putaran. *Interrupt* berfungsi untuk menambah nilai variable setiap kali pulsa diterima. Jumlah pulsa dihitung dan dikonversi menjadi *Revolutions Per Minute* (RPM) dengan rumus yang sudah ada pada program dan dikalkulasi menjadi nilai RPM [33]:

$$RPM = \left(\frac{\text{Jumlah Pulsa}}{\text{Waktu (ms)}} \right) \times 60000 \quad (2.2)$$

Dimana nilai 60000 merupakan nilai konversi dari milidetik ke menit. Pada penelitian ini menggunakan sensor proximity model *Hall Effect* sebagai sensor yang mengukur RPM pada *Magnetic Drum Separator*. Sensor memiliki 3 buah pin yang diantaranya *VCC*, *GND*, dan *output* sensor itu sendiri yang nantinya diolah oleh mikrokontroler. Berikut spesifikasi dari sensor proximity model *Hall Effect* yang digunakan pada penelitian ini.

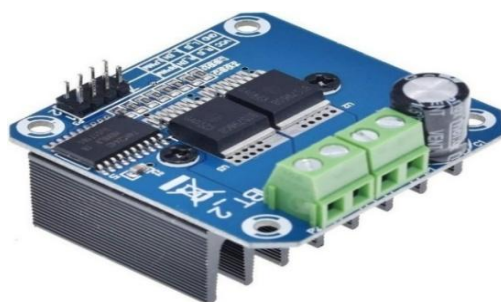
Tabel 2. 5 Spesifikasi Sensor Proximity *Hall Effect*.

Spesifikasi Sensor Proximity <i>Hall Effect</i>	
Model	Hall Sensor
Tegangan Operasi	5VDC - 36VDC
Keluaran Arus	300mA
Polaritas	NPN
Detection Range	4 mm
Deteksi Objek	Magnet

Pada **Tabel 2. 5** berisi spesifikasi sensor proximity [34]. Komponen ini beroperasi pada tegangan 6 – 36 VDC dengan keluaran arus sebesar 300 mA. Pemilihan sensor proximity sebagai pengukur kecepatan pada penelitian ini karena desainnya yang compatible dengan rancangan alat. Memiliki akurasi 99% dengan eror sebesar 4,67% yang tidak jauh beda dari hasil tachometer [31].

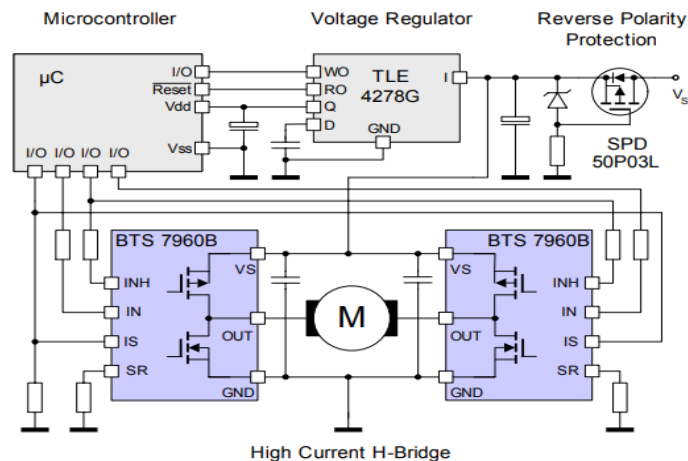
2.7 *Driver Motor BTS7960*

Driver motor merupakan sebuah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan aliran arus listrik ke motor, sehingga motor dapat bekerja sesuai dengan sinyal kendali yang diberikan, baik dalam hal arah putaran, kecepatan rotasi, maupun torsi yang dihasilkan. Perangkat ini sangat penting karena motor DC memerlukan arus dan tegangan yang lebih besar dari kapasitas keluaran mikrokontroler seperti Arduino atau mikrokontroler lainnya. Oleh karena itu, driver motor berfungsi sebagai jembatan atau penguat sinyal antara sistem kontrol dengan motor penggerak [35].



Gambar 2. 11 Komponen Driver Motor BTS7960 digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC

Pada **Gambar 2. 11** menunjukkan model driver motor BTS7960 yang digunakan pada penelitian ini sebagai komponen utama dalam sistem penggerak motor DC [36]. BTS7960 merupakan modul driver motor berbasis dual *full-bridge driver* (IBT-2) yang mampu menangani arus beban tinggi hingga 43A dan tegangan kerja hingga 24 VDC. Modul ini mengintegrasikan dua buah chip BTS7960 yang memiliki kemampuan *switching* cepat, proteksi arus berlebih (*overcurrent*), suhu berlebih (*overtemperature*), dan tegangan rendah (*under-voltage*). Prinsip kerja driver BTS7960 adalah dengan menerima sinyal PWM dari mikrokontroler untuk mengatur besar kecilnya tegangan rata-rata yang diteruskan ke motor. Semakin besar *duty cycle* dari sinyal PWM, maka semakin besar pula tegangan efektif yang diberikan ke motor, sehingga kecepatan motor akan meningkat [37].



Gambar 2. 12 Skematik rangkaian listrik driver motor BTS7960.

Rangkaian pada **Gambar 2. 12** menunjukkan implementasi driver motor menggunakan modul BTS7960, yang merupakan modul H-Bridge berdaya tinggi untuk mengendalikan arah dan kecepatan motor DC [37]. Dalam sistem ini, sumber tegangan utama diberikan melalui bagian kanan rangkaian yang dilengkapi dengan proteksi polaritas terbalik menggunakan komponen MOSFET SPD50P03L serta dioda pelindung, sehingga rangkaian tetap aman meskipun terjadi kesalahan pemasangan kutub daya. Tegangan ini selanjutnya diatur oleh voltage regulator TLE4278G untuk menyediakan tegangan stabil ke mikrokontroler (μC). Mikrokontroler kemudian mengontrol kedua sisi modul BTS7960 melalui pin INH (enable), IN (kontrol arah), dan PWM untuk mengatur kecepatan motor. Kedua IC

BTS7960 bekerja secara simultan membentuk konfigurasi H-Bridge, sehingga memungkinkan motor (M) berputar searah atau berlawanan tergantung sinyal input dari mikrokontroler. Selain itu, pin IS digunakan untuk feedback arus, sedangkan pin SR terhubung ke ground sebagai referensi sistem.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Driver Motor BTS7960.

Spesifikasi Driver Motor BTS7960	
<i>Input Tegangan</i>	6 – 27 DC
<i>Control Input Level</i>	3,3 – 5 V
<i>Working Duty Cycle</i>	0 – 100%
<i>Peak Current</i>	43 A
<i>Weight</i>	66 gr
<i>Board Size</i>	50 x 50 x43 mm

Pada **Tabel 2. 6** menjelaskan spesifikasi dari driver motor BTS7960 yang digunakan untuk mengendalikan motor DC [37]. Driver ini mampu bekerja pada tegangan *input* antara 6 hingga 27 Volt DC serta sinyal *input* kendali (*control input level*) yang dibutuhkan berada pada rentang 3,3 hingga 5 Volt, sehingga kompatibel dengan Arduino Mega 2560 yang digunakan pada sistem ini. Driver ini mendukung *duty cycle* kerja 0 hingga 100%, yang memungkinkan kontrol kecepatan motor secara penuh melalui sinyal PWM. Salah satu keunggulan utama BTS7960 adalah kemampuannya menangani arus puncak (*peak current*) hingga 43 Ampere, menjadikannya cocok untuk aplikasi motor berdaya besar. Dari sisi fisik, modul ini memiliki bobot sekitar 66 gram dengan ukuran papan 50 x 50 x 43 mm, cukup ringkas untuk dipasang pada panel box sistem alat pemisah logam.

2.8 Motor DC Power Window

Motor DC (*Direct Current*) adalah mesin listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanis berupa putaran. Motor DC ini memerlukan aliran listrik searah sebagai suplai tegangan pada kumparan medan magnet yang ada pada motor sehingga motor dapat bergerak. Bagian motor terdiri dari kumparan magnet yang tidak berputar disebut stator dan kumparan jangkar yang berputar disebut rotor. Ketika terjadi putaran, maka stator dan rotor akan menimbulkan tegangan

GGL yang berubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga tegangannya berubah menjadi tegangan bolak balik.



Gambar 2. 13 Komponen Motor DC Power Window untuk penggerak putar drum magnet.

Pada **Gambar 2. 13** menunjukkan komponen Motor DC Power Window [38]. Motor ini mempunyai prinsip kerja yaitu ketika tegangan DC dihubungkan pada kumparan rotor melalui sikat (*brush*) dan *komutator*, maka akan menimbulkan medan magnet pada rotor. Medan magnet rotor ini akan bereaksi dengan medan magnet dari stator. Rotor akan berputar karena adanya polarisasi magnet yang berbeda sehingga rotor akan saling tarik menarik atas dan bawah sehingga menghasilkan putaran. Besarnya torsi yang dihasilkan dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada sisi rotor serta kekuatan fluks medan magnet yang dihasilkan oleh stator. Untuk menjaga kontinuitas putaran pada motor, arah arus pada rotor harus dibalik setiap setengah putaran, yang dilakukan otomatis oleh komutator yang berputar bersama rotor. Dari proses inilah motor DC dapat berputar secara terus menerus [39].

Pada perancangan tugas akhir ini, penulis menggunakan jenis motor DC power window sebagai motor penggerak. Dapat dilihat pada **Gambar 2. 13**, Motor DC power window digunakan untuk menggerakkan *magnetic drum separator* dalam proses pemisahan logam untuk pakan ternak. Motor bergerak apabila sensor objek mendeteksi adanya material pada *hopper*.

Tabel 2. 7 Spesifikasi Motor *Power Window* (DC).

Spesifikasi Motor <i>Motor Power Window</i> (DC)	
Tegangan Operasi	9-12V DC
<i>Continous Current</i>	2,1 A
Diameter <i>Shaft</i>	12 mm
Panjang <i>Shaft</i>	5 mm
Komutasi	Brush
Rotasi/menis	90 RPM
Torsi	20 Kgcm (1,97 Nm)

Pada **Tabel 2. 7** menunjukan bahwa motor DC *power window* [38]. Motor ini memiliki kekuatan torsi yang cukup tinggi, ini memungkinkan dapat menggerakkan beban dengan stabil. Untuk menentukan beban maksimum yang dapat digerakan oleh motor DC, perlu dilakukan beberapa tahapan perhitungan menggunakan rumus dasar torsi dan gaya. Mencari torsi output yang dihasilkan setelah melewati *gearbox* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\tau_{output} = \tau_{motor} \times R_{gearbox} \quad (2.3)$$

Dimana τ_{motor} adalah torsi motor yang diperoleh dari data spesifikasi motor. Sedangkan $R_{gearbox}$ adalah rasio roda gigi dari *gearbox* yang digunakan. Hasil perkalian dari keduanya memberikan nilai torsi total yang lebih besar daripada torsi motor aslinya, tergantung dari rasio penguatan yang dimiliki *gearbox* tersebut. Setelah mendapatkan nilai torsi *output*, langkah berikutnya adalah mengubah torsi tersebut menjadi gaya. Kita dapat mengetahui gaya (F) dengan menggunakan rumus torsi (τ) dasar.

Mencari gaya (F) dengan torsi (τ) yang sudah diketahui :

$$\tau = r \times F \quad (2.4)$$

Dari persamaan (2.4), gaya (F) yang bekerja dapat dihitung dengan lebih sederhana apabila lengan torsi dengan gaya tegak lurus. Maka, persamaan 2.4 dapat dituliskan menjadi :

$$F = \frac{\tau}{r} \quad (2.5)$$

Dimana nilai r diperoleh dari jarak atau jari jari dari pusat rotasi ke titik gaya bekerja. Sedangkan F diperoleh dari besar gaya yang bekerja. Gaya yang sudah diperoleh digunakan untuk mengetahui massa beban yang dapat diangkat. Gaya yang bekerja terhadap benda akan mengatasi gaya beratnya, yang nilainya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi.

Menghitung beban yang akan diangkat motor:

$$m = \frac{F}{g} \quad (2.6)$$

Dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, sebagai percepatan gravitasi bumi. Nilai massa yang dihasilkan menunjukkan beban yang dapat diangkat oleh sistem motor dalam kondisi ideal. Selain perhitungan beban, efisiensi motor juga menjadi aspek penting dalam menganalisis performa sistem. Efisiensi menggambarkan seberapa besar energi listrik yang diubah menjadi energi mekanik oleh motor. Daya mekanik ($P_{mekanik}$) pada motor dihitung dari hasil perkalian antara torsi (τ) dan kecepatan sudut motor (ω) sebagai berikut:

$$P_{mekanik} = \tau \times \omega \quad (2.7)$$

Sementara itu, daya listrik ($P_{listrik}$) yang dikonsumsi motor dihitung dengan menggunakan rumus:

$$P_{listrik} = V \cdot I \quad (2.8)$$

Dimana V adalah tegangan masukan dan I adalah arus yang mengalir pada motor. Dari kedua daya ini, efisiensi motor dapat diketahui dengan rumus:

$$\eta = \frac{P_{mekanik}}{P_{listrik}} \times 100\% \quad (2.9)$$

Untuk menghitung daya mekanik, diperlukan nilai kecepatan sudut ω , yang dapat diperoleh dari kecepatan putaran motor dalam satuan RPM. Kecepatan sudut ini dihitung menggunakan rumus konversi:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot rpm}{60} \quad (2.10)$$

Dengan demikian, keseluruhan perhitungan mulai dari torsi, gaya, beban, hingga efisiensi memberikan pemahaman menyeluruh mengenai kemampuan motor dalam mengangkat beban serta seberapa efisien energi listrik dikonversikan menjadi gerakan mekanik oleh sistem tersebut [40]. .

2.9 Motor Servo MG996R



Gambar 2. 14 komponen Motor Servo digunakan untuk menggerakkan katup pada *hopper*.

Pada **Gambar 2. 14** menunjukan komponen motor servo [41]. Motor servo adalah sebuah motor yang bekerja dengan sistem *close loop* dimana posisi dari motor servo akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada didalam motor servo. Motor ini memiliki kemampuan bekerja dua arah (*Clockwise* dan

Counter Clockwise) dengan defleksi masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total defleksi sudut dari kanan – tengah –kiri adalah 180° . Servo motor bekerja berdasarkan sinyal kontrol berupa sinyal PWM yang dikirimkan oleh mikrokontroler seperti Arduino. Sinyal PWM ini membawa informasi tentang sudut yang diinginkan, di mana lebar pulsa menentukan posisi poros servo. Sebagai contoh, pulsa 1 ms biasanya mengarahkan poros ke sudut 0° , sedangkan pulsa 2 ms mengarahkan ke 180° . Saat motor DC berputar, gearbox akan memperlambat putaran sehingga poros servo bergerak perlahan dan presisi. Potensiometer yang menyatu dengan shaft motor akan ikut berputar, lalu mengirimkan sinyal posisi aktual ke rangkaian kontrol internal. Sinyal dari potensiometer ini kemudian dibandingkan dengan posisi target yang dikodekan oleh sinyal PWM. Jika terjadi perbedaan antara posisi aktual dan posisi yang diinginkan, maka sistem kontrol akan mengaktifkan motor DC untuk bergerak ke arah yang sesuai hingga perbedaan tersebut hilang. Agar motor dapat berputar ke kanan maupun ke kiri, rangkaian kontrol di dalam servo sudah dilengkapi dengan driver seperti H-bridge mini. Rangkaian ini memungkinkan pembalikan arah arus listrik pada motor DC, sehingga arah putaran motor bisa dikendalikan secara otomatis oleh sistem untuk menyesuaikan posisi poros dengan perintah PWM yang diberikan [42].

Pada penelitian ini, motor servo model Mg996R yang digunakan sebagai aktuator untuk menggerakkan katup pada *hopper* sehingga material yang ada pada *hopper* akan mengalir ke drum magnet. Spesifikasi motor servo yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 2. 8 Spesifikasi Motor Servo Mg996R.

Spesifikasi mikrokontroller Motor Servo Mg996R	
Tegangan Operasi	4,8 – 7,2 V
Arus	500-900mA
Putaran Sudut	$0 - 180^\circ$
Kecepatan	0,17/s (4,8V) dan 0,14/s (6V)
Torsi	9.4 kgfcm (4,8V), 11 kgfcm (6V)

Pada **Tabel 2. 8** menampilkan spesifikasi teknis dari motor servo MG996R [43]. Motor ini beroperasi pada rentang tegangan 4,8 hingga 7,2 Volt, dengan

konsumsi arus mencapai 900mA. Motor ini juga mampu menghasilkan torsi sebesar 9,4 kgf.cm pada 4,8V dan 11 kgf.cm pada 6V menjadi cocok untuk membantu sistem ini dalam menggerakkan katup *hopper*.

2.10 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Liquid Crystal Display (LCD) adalah sebuah perangkat tampilan yang menggunakan kristal cair untuk menampilkan karakter atau informasi visual. LCD dapat menampilkan teks maupun gambar, sehingga sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik. Pada penelitian ini, LCD yang digunakan adalah LCD 16x2, yang memiliki dua baris dengan masing-masing 16 karakter. LCD memiliki dua bagian utama, yaitu *backlight*, yang berfungsi sebagai penerangan latar belakang agar tampilan tetap terlihat jelas dalam kondisi minim cahaya, serta kontras, yang berguna untuk mempertajam tampilan agar tulisan lebih mudah dibaca.



Gambar 2. 15 Komponen LCD yang dilengkapi modul I2C digunakan untuk menyederhanakan koneksi pin pada LCD.

Pada **Gambar 2. 15** menunjukkan komponen LCD yang dilengkapi dengan modul I2C sebagai sistem komunikasi dengan mikrokontroler [43]. protokol Inter-Integrated Circuit (I2C) adalah standar komunikasi serial dua arah yang hanya memerlukan dua jalur data untuk mengirim dan menerima informasi. Sistem I2C terdiri dari *Serial Clock (SCL)* yang berfungsi mengatur waktu pengiriman data, serta *Serial Data (SDA)* yang bertugas mentransfer data antar perangkat. Pada komunikasi I2C, perangkat yang terhubung dapat beroperasi dalam dua mode, yaitu *Master* dan *Slave*. *Master* adalah perangkat yang menginisiasi transfer data, menghasilkan sinyal *start* dan *stop*, serta mengontrol *clock* pada bus I2C. Sementara itu, *Slave* adalah perangkat yang menerima data dan hanya beroperasi ketika

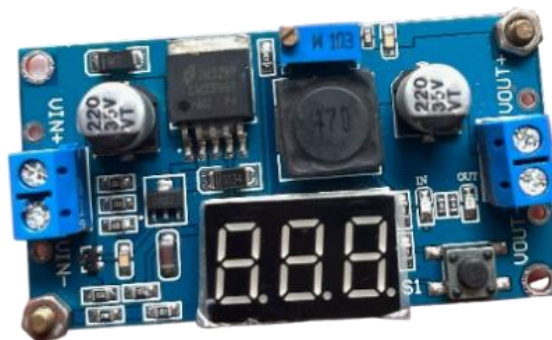
dipanggil oleh *Master*. Dengan menggunakan antarmuka I2C, LCD dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler secara lebih efisien karena hanya membutuhkan dua jalur data, sehingga menghemat penggunaan pin dibandingkan dengan metode komunikasi paralel. Pada tugas akhir ini, LCD I2C digunakan sebagai tampilan utama yang dapat menampilkan kondisi mesin secara *real-time* [44].

Tabel 2. 9 Spesifikasi LCD I2C .

Spesifikasi LCD I2C	
Tegangan Operasi	5 V
Karakter per baris	16
Rentang alamat I2C	0 x 20 sampai 0 x 27
<i>Backlight</i>	Putih
Kontras	Dapat disesuaikan dengan potensiometer.

Pada **Tabel 2. 9** menunjukkan spesifikasi LCD I2C yang umum digunakan dalam sistem mikrokontroler [45]. LCD ini bekerja pada tegangan 5V dan mendukung hingga 16 karakter per baris, cocok untuk menampilkan data sederhana. Komunikasinya menggunakan protokol I2C dengan rentang alamat dari 0x20 hingga 0x27. Layar ini dilengkapi dengan *backlight* berwarna putih serta kontras yang dapat diatur melalui potensiometer, sehingga tampilan teks dapat disesuaikan dengan kebutuhan pencahayaan lingkungan

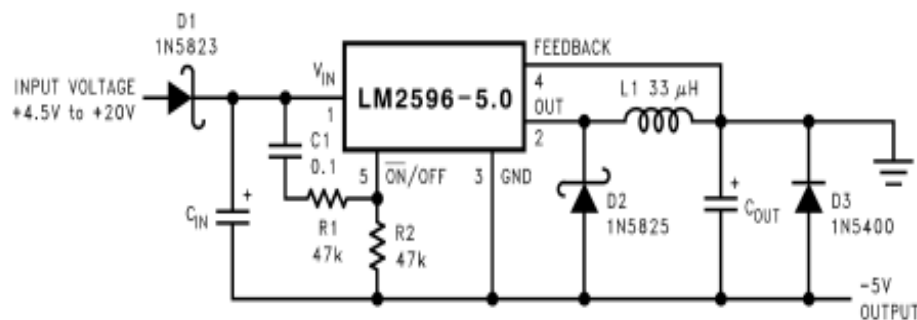
2.11 Buck Converter LM2956



Gambar 2. 16 Komponen LM2956 digunakan untuk menurunkan tegangan 12V-

5V

Pada **Gambar 2. 16** merupakan Modul *step-down* LM2596 yang merupakan perangkat konversi tegangan DC ke DC yang menggunakan IC LM2596 sebagai komponen utama untuk menurunkan tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang lebih rendah dengan efisiensi tinggi dan arus maksimal hingga 3 ampere. IC ini merupakan model versi *adjustable* yang memungkinkan pengaturan tegangan keluaran melalui potensiometer (hingga sekitar 12V), serta versi *fixed output* dengan tegangan tetap seperti 3.3V, 5V, atau 12V. LM2596 beroperasi pada frekuensi *switching* 150 KHz, sehingga memungkinkan penggunaan komponen *filter* berukuran lebih kecil dibandingkan dengan regulator frekuensi rendah. Kelebihan dari IC LM2596 ini adalah besar tegangan *output* yang tidak berubah (stabil) walaupun tegangan *input* naik turun. Pada komponen ini juga terdapat *seven segment display* yang berfungsi menampilkan informasi besar tegangan yang lewat pada modul ini. Terdapat tombol yang dapat mengganti informasi pada *dipslay* tersebut seperti menampilkan besar tegangan *input* atau besar tegangan *output* [46].



Gambar 2. 17 Skematik rangkaian listrik buck converter.

Rangkaian pada **Gambar 2. 17** merupakan rangkaian buck converter [47]. Prinsip kerja rangkaian ini etika tegangan masuk diberikan, arus pertama kali melewati dioda D1 (1N5823) yang berfungsi sebagai pelindung polaritas terbalik serta mengurangi penurunan tegangan. Tegangan kemudian distabilkan oleh kapasitor input (CIN) sebelum masuk ke IC LM2596 agar tidak terjadi fluktuasi saat *switching*. Resistor R1 dan R2 berfungsi sebagai pembagi tegangan untuk mengatur status ON/OFF dari pin kontrol IC LM2596. Ketika IC aktif, MOSFET internal di dalam LM2596 akan melakukan proses *switching* terhadap tegangan input dan menghasilkan pulsa-pulsa tegangan pada pin OUT. Pulsa ini dialirkan ke induktor L1 (33 μ H) yang berfungsi menyimpan energi dalam bentuk medan

magnet lalu melepaskannya saat pulsa OFF. Proses ini menghasilkan tegangan DC yang lebih rendah secara konstan pada sisi output. Pada saat pulsa OFF, dioda D2 (1N5825) akan memberikan jalur arus alternatif agar arus tetap mengalir ke beban. Tegangan hasil *switching* ini kemudian diratakan oleh kapasitor output (COUT), menghasilkan tegangan DC yang lebih bersih dan stabil. Dioda tambahan D3 (1N5400) berfungsi sebagai proteksi ekstra terhadap output. Untuk menjaga tegangan output tetap stabil di 5V, pin *feedback* dari IC terhubung ke jalur output, sehingga IC dapat menyesuaikan siklus kerja PWM berdasarkan perbandingan tegangan aktual dan tegangan referensinya.

Tabel 2. 10 Spesifikasi Buck Converter LM2956 [47]

Spesifikasi Buck Converter LM2956	
Model Modul	Buck Converter
<i>Input</i> Tegangan	4 – 40 V
<i>Output</i> Tegangan	1,25 – 37 V
Maksimal arus	3 A
Frekuensi	150 Khz
Dimensi	66 x 36 mm

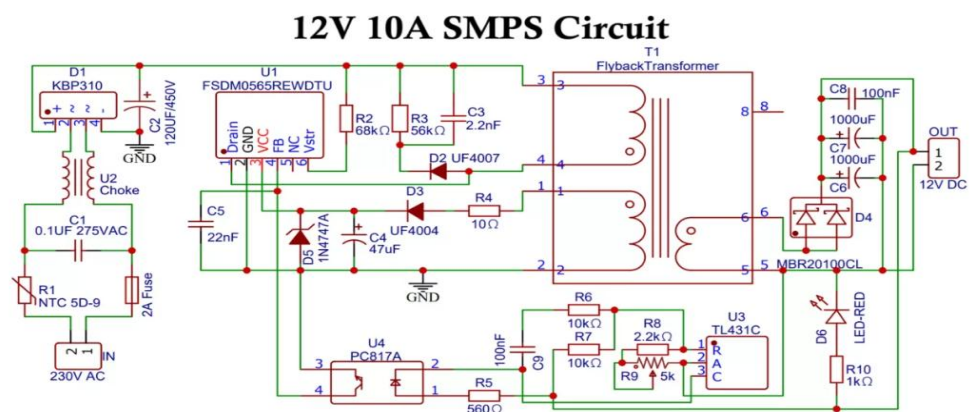
Pada **Tabel 2. 10** menunjukkan spesifikasi dari modul Buck Converter LM2956 [47]. Modul ini memiliki tegangan *input* dalam rentang 4 hingga 40 volt, dengan tegangan *output* yang dapat disesuaikan antara 1,25 hingga 37 volt. Modul ini membantu peneliti untuk menyesuaikan kebutuhan sistem dengan menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V . Hasil penurunan tegangan ini didistribusikan keseluruhan komponen yang memiliki spesifikasi 5V sehingga kinerja komponen dapat bekerja secara optimal.

2.12 Power Supply 12 VDC



Gambar 2. 18 Komponen power supply dan *schematic* rangkaian untuk sumber daya utama pada sistem .

Pada **Gambar 2. 18** menunjukkan komponen power supply [48] . Power supply atau yang dikenal sebagai catu daya dalam bahasa Indonesia yang merupakan perangkat listrik yang berfungsi menyediakan energi listrik untuk peralatan listrik atau elektronik lainnya. Power supply berperan sebagai penyedia sumber tegangan utama yang dihasilkan dari proses pengubahan tegangan *Alternating Current* (AC) menjadi sumber listrik *Direct Current* (DC) sebesar melalui prinsip *bridge rectified* (dioda penyearah). Power supply juga disebut juga dengan istilah *Electric Power Converter* [49].



Gambar 2. 19 Skematik rangkaian listrik SMPS 12V 10A

Pada **Gambar 2. 19** menunjukan skematik rangkaian listrik dari power supply yang digunakan pada sistem ini [50]. Rangkaian power supply ini bekerja untuk mengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 12V dengan arus hingga 10A

menggunakan metode *flyback*. Tegangan AC 220V dari input pertama-tama melewati komponen proteksi seperti NTC thermistor (R1) yang berfungsi membatasi arus inrush, serta fuse 2A sebagai pengaman. Kemudian tegangan disaring oleh kapasitor C1 untuk mengurangi noise frekuensi tinggi. Setelah itu, Tegangan disearahkan oleh jembatan dioda KBP310 (D1), menghasilkan tegangan DC yang berfluktuasi yang kemudian dihaluskan oleh kapasitor elektrolit C2 (120 μ F/450V). Tegangan DC ini menjadi input bagi rangkaian switching dikendalikan oleh IC FSDM0565 (U1), yaitu rangkaian switch-mode power controller internal dengan MOSFET. IC ini bekerja dengan prinsip switching on-off pada lilitan primer transformator flyback (T1), menghasilkan perubahan medan magnet yang kemudian diinduksikan ke sisi sekunder. Untuk menjaga kestabilan output, digunakan sistem umpan balik (feedback) melalui optocoupler PC817A (U4) dan referensi tegangan TL431 (U3). Saat tegangan output berubah, sinyal dari TL431 mengatur intensitas cahaya pada optocoupler, yang selanjutnya mempengaruhi duty cycle switching IC agar tegangan tetap stabil. Tegangan yang diinduksikan pada sisi sekunder transformator kemudian disearahkan oleh dioda MBR20100C (D4) dan difilter oleh kapasitor C7 dan C8 untuk menghasilkan output DC 12V yang bersih. Tegangan kemudian akan melewati LED dan resistor R10 yang dipasang pada output. Selain itu, dioda freewheeling berfungsi untuk memberikan jalur arus balik saat switching dalam kondisi off, sehingga melindungi komponen switching dari tegangan induksi balik yang dapat merusak[51].

Tabel 2. 11 Spesifikasi Komponen *Power Supply* 12 VDC.

Spesifikasi Power Supply 12 VDC 10A	
<i>Input Voltage</i>	100 – 240 VAC/ 50Hz/60Hz
<i>Output Tegangan</i>	12 VDC
<i>Output Voltage Control</i>	11V – 13.8V
<i>Output Current</i>	10 A
<i>Operation Temperature</i>	-10°C to +50°C
Dimensi	199 x 98 42 mm

Pada **Tabel 2. 11** ditunjukkan spesifikasi dari komponen power supply 12 VDC 10A yang digunakan sebagai sumber daya utama dalam sistem. yang digunakan

sebagai sumber daya utama dalam sistem [50].. Power supply ini memiliki tegangan *input* sebesar 100 – 240 VAC dengan frekuensi 50 – 60 Hz, yang membuatnya kompatibel dengan standar listrik rumah tangga pada umumnya. *Output* yang dihasilkan berupa tegangan searah (DC) sebesar 12 Volt, dengan rentang pengaturan *output voltage* antara 11 hingga 13.8 Volt dan arus maksimum mencapai 10 Ampere. Pemilihan power supply ini disesuaikan dengan kebutuhan total sistem, di mana seluruh komponen elektronik yang digunakan, termasuk motor, driver, dan sensor, membutuhkan arus sekitar 6-7 Ampere sehingga digunakan Power Supply 12V 10A Sebagai langkah antisipatif untuk menghindari penurunan performa, drop tegangan, atau kerusakan komponen, sehingga mampu mendukung keseluruhan kinerja sistem secara optimal.

2.13 **Arduino IDE**

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak *open source* yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler arduino. Arduino IDE ini merupakan aplikasi perangkat lunak yang penggunaannya ditujukan untuk *board* atau mikrokontroler produk Arduino (Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Pro Mini, dan lain-lain). Dalam perkembangannya, Arduino IDE ini juga dapat ditambahkan *board* yang tersedia pada menu *tools*. Program yang ditulis menggunakan Arduino IDE disebut sketsa. Sketsa ini ditulis dalam bahasa C berupa editor teks dan disimpan dengan file dengan ekstensi INO. *Editor* memiliki fitur untuk memotong/ menempel dan untuk mencari/mengganti teks. Konsol menampilkan keluaran teks dengan Arduino IDE, termasuk pesan kesalahan yang lengkap dan informasi lainnya. Pojok kanan atas jendela menampilkan papan dikonfigurasi dan *port serial*. Tombol *toolbar* memungkinkan untuk memverifikasi dan meng-upload program, membuat, membuka, dan menyimpan sketsa, dan membuka monitor serial [52].

2.14 Pulley dan Belt



Gambar 2. 20 Komponen pulley dan belt digunakan untuk mentransmisikan daya dan putaran dari dua poros yaitu motor DC dan drum magnet .

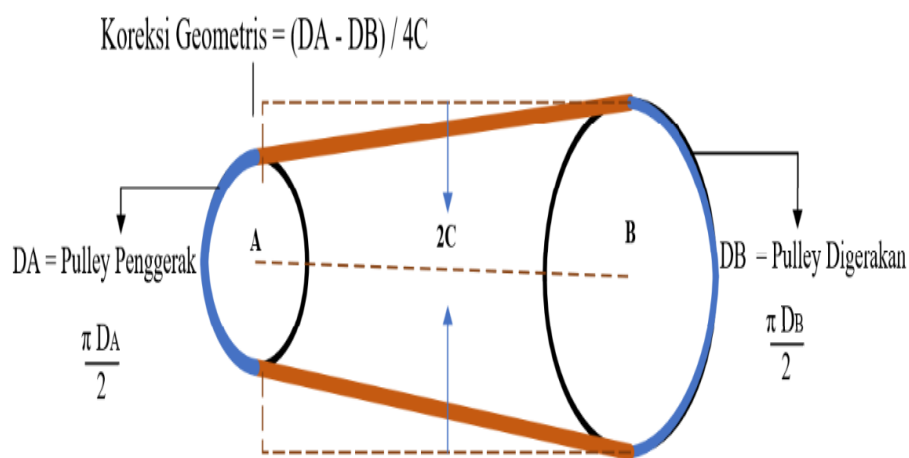
Pada **Gambar 2. 20** menunjukan komponen pulley dan belt yang digunakan untuk mentransmisikan daya dan putaran antara dua poros, yaitu poros motor DC dan poros drum magnet [53]. Sistem ini berfungsi untuk memindahkan daya, torsi dan kecepatan serta dapat memindahkan beban berat dengan variasi diameter yang berbeda. *Pulley* adalah roda beralur yang dipasang pada poros dan berfungsi untuk mengubah arah gaya serta memindahkan putaran atau beban berat melalui sabuk (*belt*) yang terpasang pada alurnya. Sistem *pulley* bekerja dengan memanfaatkan sabuk *belt* sebagai elemen penghubung antar *pulley*. Daya yang ditransmisikan diakibatkan oleh aksi desak (*wedging*) antara *belt* dan alur V dalam *pulley*. Transmisi daya pada sistem pulley dan belt berawal dari prinsip konservasi kecepatan linier di permukaan sabuk tanpa slip. Secara fisika murni, kecepatan linier v di kedua pulley harus sama, sehingga berlaku :

$$\omega_1 R_1 = \omega_2 R_2 \quad (2.11)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut (rad/s) dan R jari-jari pulley. Persamaan (2.11) menjelaskan bagaimana jari-jari berbeda akan menyesuaikan besarnya kecepatan sudut agar belt tetap “menggigit” kedua pulley dengan kecepatan linear yang sama. Ukuran diameter pulley yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut [54].

$$D_B = \frac{n_A}{n_B} \times D_A \quad (2.12)$$

Pada rumus tersebut, D_B merupakan diameter pulley yang digerakkan (dalam satuan milimeter), sedangkan D_A adalah diameter pulley penggerak (mm). Nilai n_A menunjukkan kecepatan putaran dari motor A sebagai penggerak, diukur dalam satuan RPM (revolutions per minute), dan n_B adalah kecepatan putaran dari motor B atau bagian yang digerakkan (RPM). Dengan membandingkan kecepatan dan diameter pulley, kita dapat menentukan ukuran pulley untuk mencapai putaran yang diinginkan. Setelah itu, kita membutuhkan ukuran panjang sabuk yang presisi sesuai dengan ukuran masing masing pulley dengan memperhatikan jarak antar pulley.



Gambar 2. 21 Ilustrasi dalam menentukan panjang sabuk pada sistem pulley dan belt

Berdasarkan **Gambar 2. 21** untuk menentukan panjang sabuk kita membutuhkan dua kali panjang C yang mewakili panjang sabuk bagian atas dan bawah. Kemudian, pada bagian kedua pulley, panjang sabuk hanya membutuhkan setengah keliling lingkaran dari masing masing pulley. Perbedaan diameter antara kedua pulley menyebabkan perubahan kecil pada total panjang lintasan sabuk. Oleh karena itu dibutuhkan penambahan koreksi geometris agar perhitungan panjang sabuk lebih akurat. Dari analisis ini kita dapat memperoleh panjang sabuk (L) yang efisien, dengan rumus sebagai berikut:

$$L = 2 \cdot c + \left[D_A + D_B \cdot \frac{\pi}{2} \right] + \left[\frac{(D_A + D_B)^2}{4 \cdot c} \right] \quad (2.13)$$

Dimana C merupakan jarak antar poros antara pulley A dan pulley B. Nilai π (pi) digunakan sebagai konstanta sebesar 3,14. Hubungan antara kedua persamaan di atas menunjukkan bahwa efisiensi sistem transmisi pulley dan belt sangat bergantung pada pemilihan diameter pulley dan panjang sabuk yang tepat. Persamaan (2.11) digunakan untuk menentukan perbandingan kecepatan putaran antar pulley melalui diameter masing-masing, sedangkan persamaan (2.12) membantu menghitung panjang sabuk agar sesuai dengan jarak antar poros. Kedua perhitungan ini saling berkaitan dan penting untuk memastikan kinerja sistem berjalan optimal dan stabil.