

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Penelitian ini mengacu pada berbagai studi literatur jurnal ilmiah yang relevan telah banyak membahas topik penelitian yang terkait, dengan memberikan perspektif dan temuan yang beragam yang penting untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini. Dalam studi pustaka ini, akan dibahas hasil-hasil penelitian terdahulu yang diterbitkan dalam jurnal-jurnal terkemuka, yang memberikan landasan teoritis dan temuan empiris yang akan memperkaya analisis dalam penelitian ini. Berikut adalah daftar jurnal yang dijadikan rujukan

Tabel 2.1 Studi Pustaka terkait

Tahun	Author	Judul	Hasil
2021	D.S. Febriyan	Implementasi of DC Motor PID Control on Conveyor	Penelitian ini mengimplementasikan metode PID untuk mengontrol kecepatan motor DC pada sistem konveyor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kecepatan motor mendekati nilai setpoint dengan error yang relatif

			kecil dibandingkan tanpa pengendali.
2023	R. Abdillah	Sistem Kendali Kecepatan Conveyor dengan Metode PID	Penelitian ini menunjukkan bahwa pengendali PID mampu memperbaiki respon sistem konveyor dengan mengurangi overshoot dan meningkatkan kestabilan kecepatan motor.
2024	H. Supriyono	Development of DC Motor Speed Control Using PID Based on Arduino	Penelitian ini mengembangkan sistem kontrol kecepatan motor DC berbasis Arduino dengan metode PID. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu mengontrol kecepatan motor secara real-time dengan respon yang lebih stabil.
2022	M.D.I. Putri	Pengendali Kecepatan Motor DC Menggunakan	Penelitian ini menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols

		an PID dan Metode Ziegler-Nichols	untuk menentukan parameter PID sehingga menghasilkan respon sistem yang cepat dengan overshoot yang lebih kecil.
--	--	-----------------------------------	--

Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, penelitian sebelumnya telah membahas implementasi kendali PID pada motor DC berbasis Arduino untuk meningkatkan kestabilan kecepatan motor. Namun, sebagian besar penelitian berfokus pada pengujian motor DC atau menggunakan metode tuning seperti Ziegler-Nichols tanpa mengevaluasi pengaruh variasi beban pada sistem belt conveyor. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kebaruan berupa penerapan kendali PID berbasis Arduino pada belt conveyor dengan metode tuning trial and error serta pengujian pada berbagai variasi beban untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mempertahankan kecepatan motor sesuai nilai setpoint.

2.2 Teori Kendali PID (Proportional Integral Derivative)

Kendali PID (Proportional–Integral–Derivative) merupakan metode pengendalian yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri karena memiliki struktur sederhana dan mampu menghasilkan respon sistem yang baik. PID bekerja dengan cara meminimalkan error antara nilai keluaran sistem dengan nilai yang diinginkan (setpoint) [4].

Secara umum, persamaan kendali PID dinyatakan sebagai:

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}] \quad 2.1$$

Dimana:

$u(t)$ = sinyal kontrol (output PID / *output controller*)

$e(t)$ = sinyal *error*

K_p = konstanta *proportional*

K_i = konstanta *integral*

K_d = konstanta *derivative*

2.2.1 Komponen Proportional (P)

Komponen proportional menghasilkan sinyal kontrol yang sebanding dengan error saat ini [6].

$$P = K_p \cdot e(t)$$

Karakteristik:

- Mempercepat respon sistem
- Mengurangi error
- Terlalu besar > menyebabkan overshoot

2.2.2 Komponen Integral (I)

Komponen integral bekerja berdasarkan akumulasi error dari waktu ke waktu. Dalam sistem digital (Arduino), biasanya dihitung sebagai:

$$I = I_{sebelumnya} + (K_i \cdot e(t) \cdot \Delta t) \quad 2.2$$

Fungsi:

- Menghilangkan error steady-state
- Terlalu besar → menyebabkan sistem lambat dan tidak stabil

2.2.3 Komponen Derivative (D)

Komponen derivative menghitung laju perubahan error. Dalam bentuk diskrit:

$$D = K_d \cdot \frac{e(t) - e(t-1)}{\Delta t} \quad 2.3$$

Fungsi:

- Mengurangi overshoot
- Meningkatkan kestabilan
- Sensitif terhadap noise

Tabel 2. 2 Karakteristik Respon Parameter PID terhadap Respon Sistem

Response Loop Tertutup	Rise Time	Overshoot	Setting Time	Error Steady State
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan/ Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
Derivatif	Perubahan Kecil	Menurunkan	Mengurangi	Perubahan Kecil

2.2.4 Cara Menentukan Nilai Kp, Ki, dan Kd

A. Metode trial dan error

Langkah:

1. Set $K_i = 0$, $K_d = 0$
2. Naikkan K_p sampai sistem mulai stabil
3. Tambahkan K_i untuk menghilangkan error
4. Tambahkan K_d untuk mengurangi overshoot

B. Metode Ziegler-Nichols[7]

Langkah:[8]

1. Set $K_i = 0$ dan $K_d = 0$
2. Naikkan K_p sampai sistem berosilasi stabil
3. Catatan: K_u (Ultimate Gain)
 P_u (Periode Osilasi)

Rumus Ziegler-Nichols:

Parameter	Nilai
K_p	$0.6 K_u$
K_i	$2 K_p / K_u$
K_d	$K_p \times K_u / 8$

Contoh Perhitungan

Misalkan:

$$K_u = 6$$

$$P_u = 2 \text{ detik}$$

$$\text{Maka: } K_p = 0.6 \times 6 = 3.6$$

$$K_i = \frac{2 \times 3.6}{2} = 3.6$$

$$K_d = \frac{3.6 \times 2}{8} = 0.9$$

2.3 Konveyor

Konveyor merupakan alat mekanik yang digunakan untuk memindahkan material atau barang dari satu tempat ke tempat lain secara kontinu. Sistem konveyor banyak digunakan dalam industri manufaktur, pertambangan, logistik, serta industri makanan karena mampu meningkatkan efisiensi proses produksi dan mengurangi penggunaan tenaga manusia. Secara umum, konveyor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

1. *Belt* atau sabuk konveyor
2. *Drive motor* atau Motor penggerak
3. Pulley
4. Rangka konveyor
5. Sistem kontrol

Dengan kata lain *drive motor* berfungsi untuk memutar *pulley* sehingga belt konveyor dapat bergerak dan memindahkan material. Kecepatan konveyor bergantung pada kecepatan putaran motor penggerakannya. Oleh karena itu diperlukan sistem pengendalian yang mampu menjaga kestabilan kecepatan motor agar proses pemindahan barang dapat berjalan secara optimal. [1]

2.3.1 Jenis – jenis Konveyor

1. *Belt Conveyor* (Konveyor Sabuk)[9]
 - Menggunakan sabuk (belt) sebagai media pembawa material
 - Cocok untuk memindahkan barang ringan hingga sedang
 - Banyak digunakan industri manufaktur dan logistic

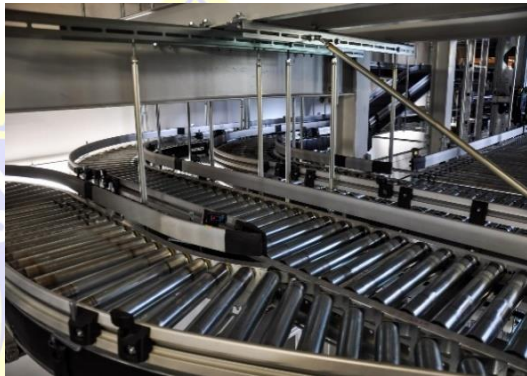


(sumber: centralconveyor.co.id, 2020)

Gambar 2.1 Belt Konveyor

2. *Roller Conveyor* (Konveyor Rol)

- Menggunakan rol – rol sebagai media pemindah
- Bisa digerakan secara manual atau motor
- Cocok untuk barang dan permukaan datar



(sumber: istockphoto.com roller-conveyor, 2017)

Gambar 2.2 Roller Konveyor

3. Chain Conveyor (Rantai Konveyor)

- Menggunakan rantai sebagai media penggerak
- Digunakan untuk beban berat
- Banyak digunakan di industri otomotif



(sumber: Belt Conveyor for bulk material CEMA,2021)

Gambar 2.3 Chain Konveyor

4. *Screw Konveyor* (Konveyor Ulir)[10]

- Menggunakan ulir (sekrup) untuk memindahkan material
- Cocok untuk material berbentuk serbuk atau granural
- Digunakan di industry semen atau makanan dengan spesifikasi tertentu

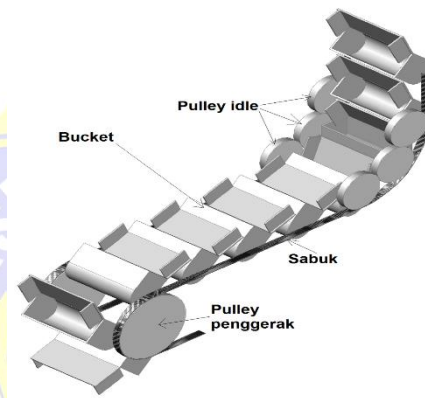


(sumber: Belt Conveyor for bulk material CEMA,2021)

Gambar 2.4 Screw Konveyor

5. *Bucket Conveyor* (Konveyor Ember)

- Menggunakan ember untuk mengangkat material secara vertikal
- Cocok untuk material curah seperti biji – bijian



(sumber: Belt Conveyor for bulk material CEMA,2021)

Gambar 2.5 Screw Konveyor

2.7 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Sensor yang digunakan *Motor Encoder* 100 RPM 12 VDC banyak digunakan pada sistem konveyor skala kecil hingga menengah karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain:[8]

- Mudah dikontrol kecepatannya
- Memiliki respon yang cepat terhadap perubahan tegangan
- Memiliki konstruksi yang sederhana

Prinsip kerja motor DC didasarkan pada interaksi antara medan magnet dan arus listrik yang mengalir pada kumparan sehingga menghasilkan gaya elektromagnetik yang menyebabkan rotor berputar.[11]. Persamaan motor DC

$$V = E + I_a \cdot R_a \quad 2.4$$

Dimana:

V= Tegangan sumber

E= Gaya gerak listrik balik

I_a= Arus jangkar

R_a= Hambatan jangkar

Kecepatan motor DC dapat dikontrol dengan mengatur tegangan input atau menggunakan metode PWM (Pulse Width Modulation)

2.7.1 Konsep Dasar Perubahan Energi pada Motor DC

Pada motor DC, energi listrik yang diberikan akan diubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Secara umum, hubungan energi dapat dituliskan sebagai:

Energi listrik = Energi mekanik + Kerugian

Atau dalam bentuk daya:

$$P_{input} = P_{mekanik} + P_{loss} \quad 2.5$$

Dimana:

P_{input} = Daya listrik masuk/input (watt)

$P_{mekanik}$ = Daya mekanik keluar/output(watt)

P_{loss} = Rugi rugi daya (panas, gesekan, dll) [2]

2.8 Arduino

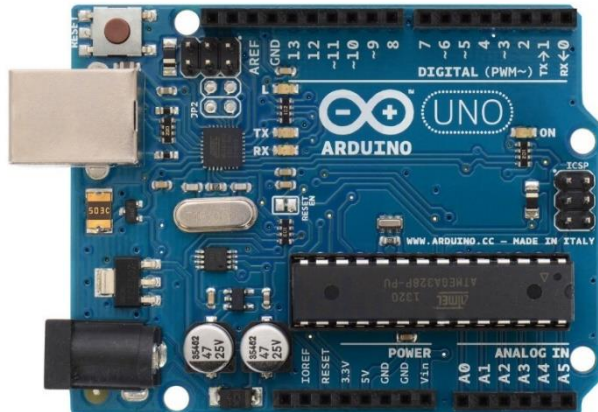
Arduino adalah platform mikrokontroler open-source yang digunakan untuk mengembangkan berbagai sistem elektronik dan otomasi. Salah satu jenis Arduino yang paling banyak digunakan adalah Arduino Uno. Arduino memiliki beberapa komponen utama seperti:[12]

- Mikrokontroler ATmega328
- Pin input/output digital
- Pin analog
- Port USB untuk pemrograman
- Regulator tegangan

Keunggulan Arduino diantara lain:

1. Mudah diprogram menggunakan bahasa pemrograman C/C++
2. Memiliki banyak library pendukung
3. Kompatibel dengan berbagai sensor dan actuator
4. Biaya relatif murah

Dalam penelitian rancang bangun ini Arduino digunakan sebagai pengendali utama untuk menjalankan algoritma PID dan mengatur kecepatan motor DC pada sistem konveyor [4].



Gambar 2.6 Arduino uno board
(sumber: docs.arduino.cc, 2026)

2.9 Sensor Encoder

Encoder merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur posisi, kecepatan, atau arah putaran suatu poros. Dalam sistem pengendalian kecepatan motor, encoder digunakan untuk membaca jumlah putaran motor dalam satuan waktu tertentu.

Jenis encoder yang umum digunakan adalah rotary encoder incremental. Encoder ini menghasilkan pulsa digital setiap kali poros motor berputar [11].

Kecepatan motor dapat dihitung menggunakan rumus:

$$RPM = \frac{\text{Jumlah pulsa} \times 60}{PPR} \quad 2.6$$

Dimana:

RPM = Putaran per menit

satuan untuk mengukur kecepatan putaran mesin (poros engkol/crankshaft) dalam satu menit. Ini menunjukkan seberapa intens mesin bekerja.

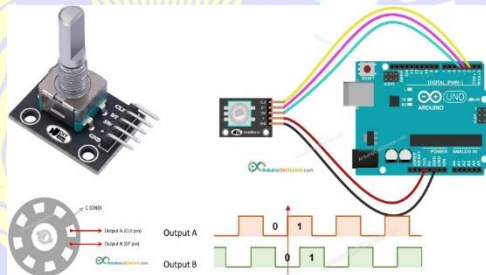
PPR = Pulse Per Revolution

satuan yang menunjukkan jumlah pulsa (sinyal digital) yang dihasilkan oleh rotary encoder dalam satu putaran penuh (360 derajat).

Pulsa = Jumlah sinyal yang terbaca

Menunjukkan jumlah signal yang terbaca pada layar.

Data kecepatan dari encoder digunakan sebagai feedback signal dalam sistem kendali PID.



Gambar 2.7 Sensor Encoder
(sumber: docs.arduino.cc, 2026)

2.10 Board Driver Motor L298 (L298N)

Board driver motor L298 (sering disebut L298N motor driver module) adalah modul elektronik yang digunakan untuk mengendalikan motor DC atau motor stepper menggunakan mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, atau mikrokontroler lainnya. Komponen

utama modul ini adalah IC L298, yaitu dual H-Bridge motor driver yang memungkinkan kita mengatur arah dan kecepatan putaran motor.

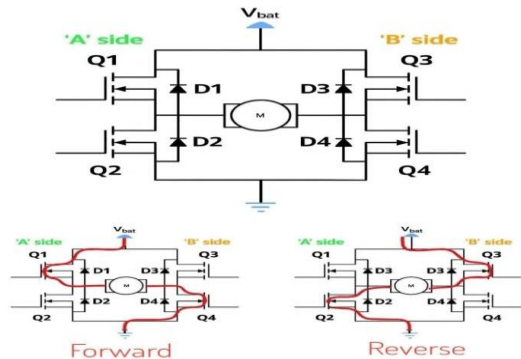
Fungsi utama driver motor L298 diantaranya:

1. Mengontrol arah putaran motor
2. Mengontrol kecepatan motor
3. Mampu menggerakkan 2 motor sekaligus
4. Sebagai penguat arus

IC L298 (L298N) menggunakan rangkaian H-Bridge. Dengan prinsip ini cara kerja putaran motor dapat dibalik sehingga motor bisa bergerak searah

jarum
count

DC MOTOR DIRECTION CONTROL



Gambar 2.8 Wiring IC L298N Motor DC

(sumber: engineersgarage.com, 2019)

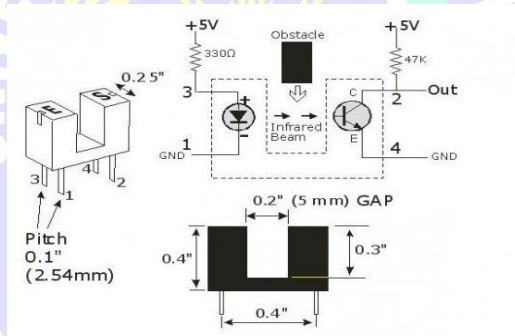
Dengan kata lain board driver L298N adalah modul driver motor berbasis IC L298 dual H-Bridge yang digunakan untuk mengontrol arah putaran dan kecepatan motor DC atau stepper melalui mikrokontroler seperti Arduino.

2.11 Speed Sensor Optocoupler

Sensor speed optocoupler adalah sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan putaran suatu benda (misalnya motor DC atau roda robot) dengan memanfaatkan cahaya inframerah dan phototransistor di dalam optocoupler. Optocoupler adalah komponen elektronik yang terdiri dari:

1. LED inframerah (IR LED) → memancarkan cahaya
2. Phototransistor / photodiode → menerima cahaya

Keduanya dipisahkan tetapi saling terhubung melalui cahaya. Artinya, sinyal listrik ditransmisikan menggunakan cahaya, bukan hubungan langsung. Prinsip kerja optocoupler:



Gambar 2. 9 Cara Kerja Sensor Speed Optocoupler
(sumber: components101, 2017)

1. Sebuah piringan berlubang (encoder disk) dipasang pada poros motor.
2. Sensor optocoupler ditempatkan menggapit piringan tersebut.
3. Saat piringan berputar:

- Lubang lewat → cahaya IR sampai ke phototransistor.
 - Bagian tertutup lewat → cahaya terhalang.
4. Sensor menghasilkan pulsa digital (ON/OFF).
 5. Mikrokontroler menghitung jumlah pulsa untuk mengetahui kecepatan putaran (RPM).

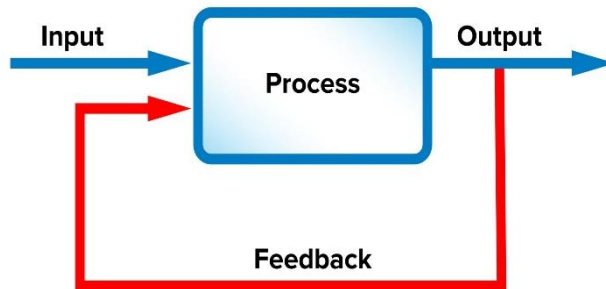
Semakin cepat motor berputar → semakin banyak pulsa yang dihasilkan.

2.12 Pulse Width Modulation (PWM)

PWM merupakan metode pengaturan tegangan rata-rata dengan cara mengubah lebar pulsa sinyal digital. Nilai PWM pada Arduino berkisar 0-255, semakin besar nilai PWM maka tegangan rata-rata yang diberikan ke motor semakin besar sehingga kecepatan motor meningkat. PWM sendiri digunakan sebagai signal kontrol motor DC dalam sistem konveyor.

2.13 Sistem Kendali Loop Tertutup

Sistem loop tertutup adalah sistem kontrol yang menggunakan umpan balik (feedback) dari hasil keluaran (output) untuk membandingkan dengan nilai yang diinginkan (setpoint), kemudian sistem akan menyesuaikan kerja agar hasilnya sesuai dengan yang diinginkan. Artinya, sistem memantau hasilnya sendiri dan memberikan informasi jika terjadi kesalahan. Struktur sistem kendali loop tertutup terdiri dari:



(sumber: [electronics-tutorials](http://electronics-tutorials.com), 2018)

Gambar 2.10 Flow proses close loop

1. Setpoint
2. Controller (PID)
3. Plant atau *field device* (Motor DC)
4. Sensor feedback (Encoder)

Dengan adanya feedback, sistem dapat menyesuaikan keluaran agar tetap sesuai dengan nilai yang diinginkan.

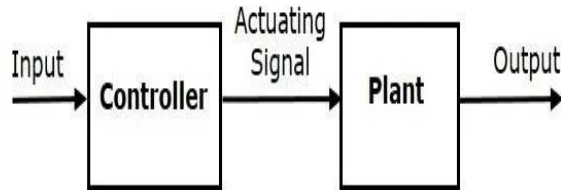
2.14 Sistem Kendali Loop Terbuka

Sistem kendali loop terbuka adalah sistem kontrol yang tidak menggunakan umpan balik (feedback) dari hasil keluaran (output). Artinya, sistem bekerja hanya berdasarkan input yang diberikan tanpa memeriksa apakah hasilnya sudah sesuai atau belum. Dengan kata lain, output tidak mempengaruhi proses kontrol, sehingga memiliki prinsip kerja sebagai berikut:

- Input : perintah dari pengguna
- Controller : mengatur kerja sistem
- Plant : perangkat yang menjalankan perintah
- Output : hasil kerja sistem

Diagram alur kerjanya :

Input → Controller → Sistem → Output



(sumber: [electronics-tutorials](http://electronics-tutorials.com), 2018)

Gambar 2.11 Block diagram open loop

Pada sistem ini tidak ada sensor yang mengirimkan feedback kembali ke controller. Contoh penerapan kontrolnya pada:

- Timer pada mesin cuci
- Perintah motor
- Kipas angin