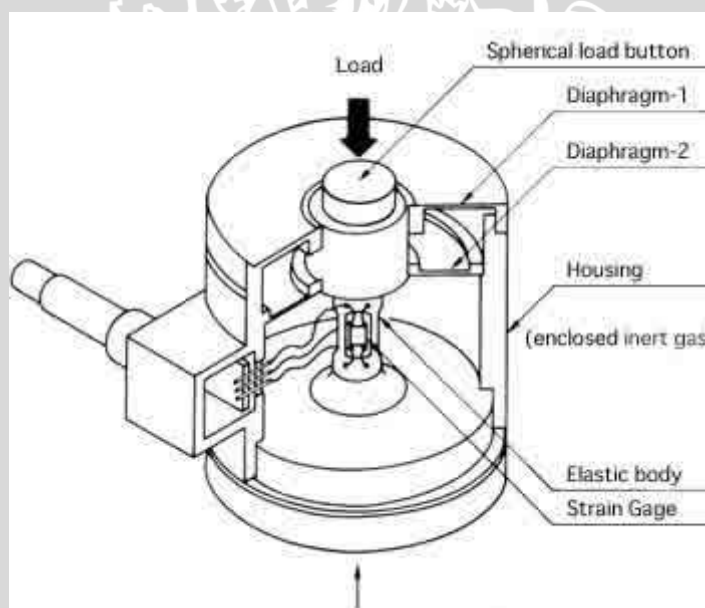


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Load cell

Load cell adalah alat yang mengeluarkan sinyal listrik yang proporsional dengan gaya yang diterima. Load cell terdiri dari *strain gauge* yang dipasang sedemikian rupa sehingga membentuk jembatan wheatstone. *Strain gauge* diletakkan pada dua sisi dari load cell dan dikalibrasi dengan amperemeter. Dua *strain gauge* yang dipasang berbalikan akan memberikan reaksi sesuai dengan perubahan pada panjang kolom. saat mengalami keadaan “gendut/gembung”. Panjang pada sepasang Strain Gauge memendek, diameter kawatnya membesar dan hambatannya berkurang. Sementara sepasang yang lain jadi memanjang, diameter kawatnya mengecil dan hambatannya bertambah. Ketika kita kalibrasi dengan amperemeter maka sinyal listrik tadi akan dapat kita baca.



Gambar 2.1 Skema Load Cell

Sumber : <http://showa-sokki.co.jp>

#### 2.2 Strain Gauge

Starin Gauge tersusun dari kawat yang sangat halus, yang dianyam secara berulang menyerupai kotak dan ditempelkan pada plastic atau kertas

sebagai medianya. Kawat yang dipakai dari jenis tembaga lapis nikel berdiameter sekitar seper seribu (0.001) inci. Kawat itu disusun bolak-balik untuk meng-efektifkan panjang kawat sebagai raksi terhadap tekanan/gaya yang mengenainya. Pada ujungnya dipasang terminal. Strain Gauge bisa dibuat sangat kecil, sampai ukuran 1/64 inci. Untuk membuat Load Cell, Strain Gauge dilekatkan pada logam yang kuat sebagai bagian dari penerima beban (*load receptor*). Strain Gauge ini disusun sedemikian rupa membentuk *Jembatan Wheatstone*.

### 2.3 Jembatan Wheatstone

Jembatan Wheatstone adalah rangkaian jembatan yang paling sederhana. Rangkaian ini digunakan dalam aplikasi pengkondisi sinyal dimana transduser mengubah tahanan dengan perubahan variabel dinamik. Dalam aplikasi paling modern, detektor setimbang adalah amplifier diferensial impedansi input sangat tinggi.

Rangkaian Jembatan Wheatstone merupakan rangkaian yang terdiri dari resistor dan catu daya (power supply). Jembatan wheatstone sendiri adalah rangkaian jembatan yang pada umumnya digunakan untuk mengukur presisi tahanan dengan nilai 1 ohm sampai dengan mega ohm. Pada umumnya rangkaian jembatan wheatstone banyak digunakan untuk menghitung resistansi yang tidak diketahui dengan bantuan dari rangkaian jembatan. Dua kaki yang terdapat pada rangkaian wheatstone harus disimpan seimbang dan satu kaki yang lainnya termasuk resistansi yang tidak di ketahui.

Prinsip dasar dari jembatan wheatstone adalah keseimbangan. Sifat umum dari arus listrik adalah arus akan mengalir menuju polaritas yang lebih rendah. Jika terdapat persamaan polaritas antara kedua titik maka arus tidak akan mengalir dari kedua titik tersebut. Dalam rangkaian dasar jembatan wheatstone penghubung kedua titik tadi disebut sebagai jembatan wheatstone.

### 2.4 Kontroler PID (*Proportional Integral Derivative*)

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol *proporsional*, aksi kontrol *integral* dan aksi kontrol *derivative*. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol *proporsional* mempunyai

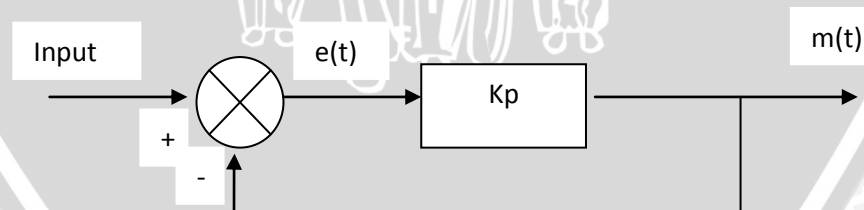
keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kontrol derivative mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot*. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan output dengan *risetime* yang cepat dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol PID.

Parameter pengontrol *Proporsional Integral derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku plant tersebut harus di ketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan.

#### 2.4.1 Kontroler Proporsional

Pengontrol proporsional memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan output sinyal sebesar konstanta pengalinya.

Gambar 6.2 menunjukkan blok diagram yang menggambarkan hubungan antara input (besaran referensi yang diinginkan), besaran actual dengan besaran keluaran kontroler proporsional, dan besaran kesalahan (error). Sinyal kesalahan (error) merupakan selisih antara besaran setting dengan besaran aktualnya



Gambar 2.2 Diagram Blok kontroler Proporsional

Sumber: Ogata, 1995:158

Pada pengendali proporsional hubungan antara keluaran dan kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan  $e(t)$  adalah:

$$m(t) = K_p \times e(t) \quad (6.1)$$

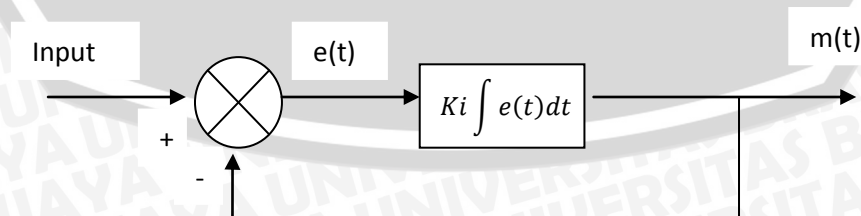
Dengan  $K_p$  adalah penguatan proporsional. Keluaran  $m(t)$  hanya tergantung pada  $K_p$  dan error, Ciri-ciri pengontrol proporsional harus diperhatikan ketika pengontrol tersebut diterapkan pada suatu sistem. Secara eksperimen, pengguna pengontrol proporsional harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini :

1. kalau nilai  $K_p$  kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. kalau nilai  $K_p$  dinaikan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai set point dan keadaan stabil.
3. namun jika nilai  $K_p$  diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosolasi.

#### 2.4.2 Kontroler Integral

Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler proporsional sebelumnya. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsure integrator ( $1/s$ ), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantapnya nol.

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Gambar 6.3 menunjukkan blok diagram kontroler integral.



Gambar 2.3 Diagram Blok kontroler integral

Sumber: Ogata, 1995:158

Nilai keluaran kontroler  $m(t)$  sebanding dengan integral sinyal kesalahan  $e(t)$ , sehingga:

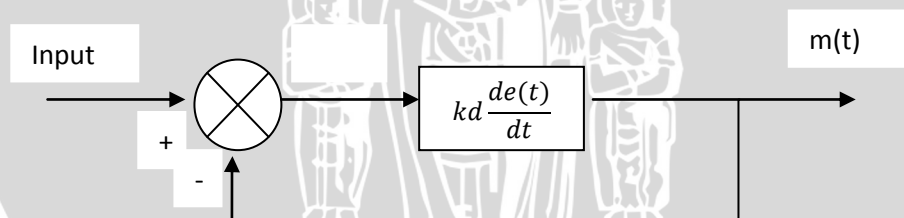
$$\frac{dm(t)}{dt} = Ki \cdot e(t) \quad (6.2)$$

$$m(t) = Ki \int_0^t e(t) dt \quad (6.3)$$

Dengan  $Ki$  adalah konstanta integral. Jika sinyal kesalahan  $e(t)=0$ , maka laju perubahan sinyal kenddali integral  $\frac{dm(t)}{dt} = 0$  atau sinyal keluaran kendalai akan tetap berada pada nilai yang dicapai sebelumnya. Aksi kontrol integral digunakan untuk menghilangkan kesalahan posisi dalam keadaan mantap (error steady state) tanpa memperhitungkan keceptanan respon.

### 2.4.3 Kontroler Differensial

Kontroler differensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivative. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Gambar 6.4. menunjukkan blok diagram pada kontroler differensial.



Gambar 2.4 Diagram Blok kontroler Differensial

Sumber: Ogata, 1995:158

Nilai keluaran kontroler  $m(t)$  sebanding laju sinyal kesalahan  $\frac{de(t)}{dt}$ . Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$m(t) = Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (6.4)$$

Kontroler differensial akan memberikan sinyal kendali keluaran  $m(t) = 0$ , untuk sinyal kesalahan  $e(t)$  yang konstan sehingga kontroler differensial tidak

mempengaruhi keadaan mantap. Kontroler differensial digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respon transien sebuah sistem serta dapat meredam osilasi.

Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler differensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya. Kerja kontroler differensial hanyalah efek dari lingkut yang sempit, yaitu periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler differensial tidak bisa digunakan tanpa ada kontroler lain.

#### 2.4.4 Kontroler Proporsional Integral (PI)

Aksi kontrol dinyatakan dalam persamaan:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (6.5)$$

Kontroler ini menghasilkan sinyal kesalahan  $\int e(t) dt$  kemudian ditambahkan dengan sinyal kesalahan  $e(t)$ .

#### 2.4.5 Kontroler Proporsional Differensial (PD)

Aksi kontrolnya dinyatakan dalam persamaan:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6.6)$$

Kontroler PD selalu mengukur kemiringan (slope) sinyal kesalahan  $\frac{de(t)}{dt}$  dan memperkirakan akan besarnya overshoot yang akan terjadi serta memberikan koreksi sebelum terjadi lewatannya sehingga diperoleh maksimum overshoot yang kecil.

Jika kesalahan keadaan mantap tidak berubah terhadap waktu maka turunannya terhadap waktu sama dengan nol, sehingga kontroler PD tidak mempunyai pengaruh terhadap kesalahan keadaan mantap, tetapi jika terdapat perubahan kesalahan, kontroler PD digunakan untuk memperbaiki suatu sistem pengendalian yang tanggapan peralihannya mempunyai maksimum overshoot yang berlebihan tanpa memperhitungkan kecepatan responnya.

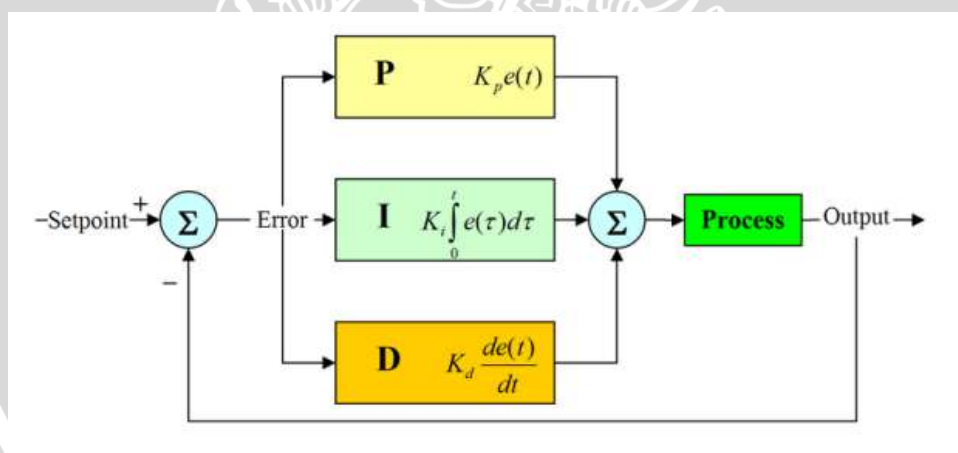
### 2.4.6 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P,I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proporsional integral differensial (PID). Elemen-elemen kontroler P,I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilakan perubahan awal yang besar (Gunterus, 1994, 8-10). Kontroller PID memiliki ddigaram kenddalai seperti yang ditunjukkan ddalam gambar 6.5.

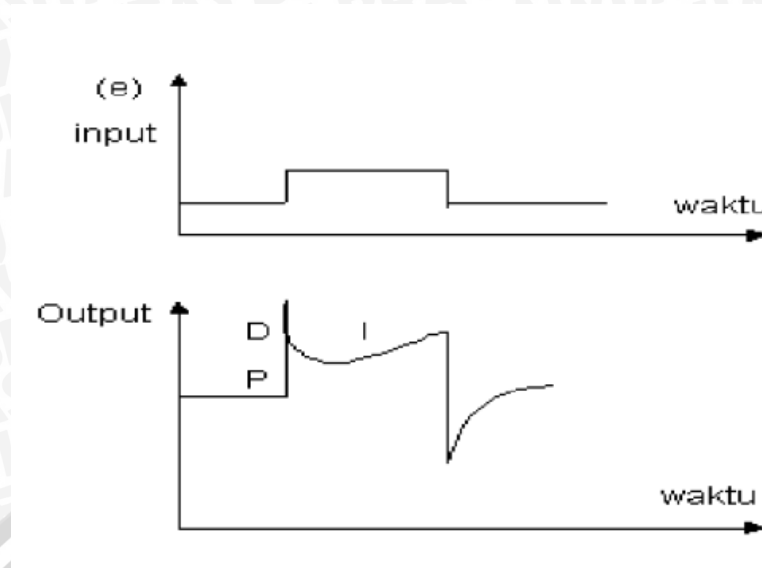
Aksi kontrolnya dinyatakan sebagai:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6.7)$$

Jenis kontroler ini digunakan untuk memperbaiki kecepatan respon, mencegah terjadinya kesalahan keadaan mantap serta mempertahankan kesetabilan.



Gambar 2.5 Blok Diagram Kontroler PID



**Gambar 2.6 Hubungan fungsi waktu antara sinyal keluaran dan sinyal masukan kokntroler PID**

Sumber: Gunterus, 1994:8-11

Keluaran kontroler PID merupakan penjumlahan dari keluaran kontroler proporsional, integral dan differensial. Gambar 6.10 menunjukkan hubungan tersebut. karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar ddari ketiga parameter P,I dan D. penyetelan konstanta  $K_p$ ,  $T_i$  dan  $T_d$  akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

## 2.5 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Arduino Uno mempunyai 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 Mhz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset.

Arduino Uno mengambil daya melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber daya ini akan dipilih secara otomatis. Catu daya eksternal (non-USB) dapat juga dicatu melalui AC- DC adaptor atau baterai.



board dapat mulai beroperasi jika dicatu dengan daya eksternal sebesar 6 sampai 20 volt. Tapi jika disuplai dengan daya kurang dari 7V, masukannya akan kurang dari 5V sehingga menyebabkan board menjadi tidak stabil. Tapi jika dicatu menggunakan daya yang lebih dari 12V, voltaase regulator akan overheat and dapat menyebabkan kerusakan pada board. Direkomendasikan isaran daya adalah sekitar 7 to 12 volts.



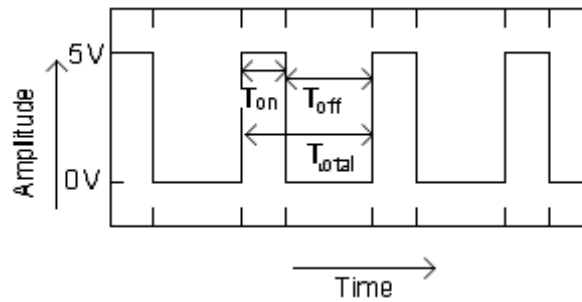
**Gambar 2.7 Skema Arduino Uno**

Sumber : Arduino.cc

## 2.6 PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. Dimana kecepatan motor DC tergantung pada besarnya duty cycle yang diberikan pada motor DC tersebut.

Pada sinyal PWM, frekuensi sinyal konstan sedangkan duty cycle bervariasi dari 0%-10%. Dengan mengatur duty cycle akan diperoleh keluaran yang diinginkan. Pada AVR ATmega16 duty cycle ditentukan oleh *Output Compare Match A* (OC1A). Sinyal PWM (*pulse width modulation*) secara umum dapat dilihat dalam gambar dibawah ini.



**Gambar 2.8** sinyal PWM secara umum

$$Duty\ Cycle = \frac{T_{on}}{T} \times 100\% \quad (a)$$

$$V_{DC} = Duty\ Cycle \times V_{cc} \quad (b)$$

Sedangkan frekuensi sinyal dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$f_{OCn} = \frac{f_{clk}}{N \cdot 256} \quad (c)$$

*Timer/counter* yang digunakan pada PWM ini yaitu *Timer/Counter0* (8 bit) dengan metode Fast PWM dan *Prescaler factor* (*N*) yaitu 256.

	NB	NS	AZ	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NS	NS	Z	PS	PS
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

## 2.7 Gas Engine

Gas Engine atau mesin pembakaran dalam, adalah sebuah mesin di mana bahan bakarnya dibakar langsung di dalam silinder. Setiap mesin pembakaran dalam adalah mesin bensin, tidak peduli apakah bahan bakar yang digunakan adalah gas atau cairan, karena dalam proses pembakarannya, bahan bakar cair awalnya akan diubah menjadi gas. Klasifikasi umum dari Gas Engine adalah sebagai berikut: 1. Menurut bahan bakar: Gas Engine yang bekerja dengan menggunakan bahan bakar dalam bentuk gas, oli mesin, dan bahan bakar minyak

yang lebih berat daripada bensin seperti minyak tanah, minyak bakar, minyak mentah, bensin, alkohol. 2. Menurut RPM ( Revolution per Minute ): Kecepatan tinggi misalnya, mesin mobil berjalan pada 1.200 RPM dan kecepatan lambat, mesin stasioner berjalan pada 100 RPM. Tetapi, kecepatan kaki piston per menitnya kemungkinan akan sama antara keduanya. 3. Menurut tak dalam siklus kerja: yaitu siklus 2 tak dan siklus 4 tak.

