

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang akan menunjang perancangan pengendalian kadar keasaman (pH) pada pengendapan tahu menggunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno.

#### 2.1 Tahu

Tahu adalah makanan yang dibuat dari endapan perasan biji kedelai yang difermentasi. Tahu merupakan bahan makanan yang kaya protein, lemak nabati dan kalsium dan mudah menyerap rasa dari berbagai bumbu masakan. Kata Inggris untuk tahu, adalah tofu yang berasal dari Jepang. Versi tahu yang dikenal di Jepang adalah *tofu*. Tofu lebih lunak dan kurang tahan terhadap pengolahan. Berikut ini adalah table kandungan nutrisi yang ada pada tahu.

Tabel 2. 1 Kandungan Nutrisi Pada Tahu

NO	KANDUNGAN GIZI	TOTAL
1	Energi	80 kkal
2	Protein	10,9 gr
3	Lemak	4,7 gr
4	Karbohidrat	0,8 gr
5	Serat	0,1 gr
7	Kalsium	223 mg
8	Fosfor	183 mg
9	Zat Besi	3,4 mg

#### 2.2 Proses Pembuatan Tahu

##### 1. Proses Dissolution

Proses Dissolution merupakan proses pelumatan biji kacang kedelai dengan menggunakan alat pelumat yang berbentuk gilingan batu dan/atau gilingan mesin untuk mendapatkan bubur kacang kedelai dari *soy-bean* basah dan tepung kacang kedelai dari *soy-bean* kering. Hasil gilingan kacang kedelai ini berupa bubur yang selanjutnya akan masuk ke proses *decoction* (Proses perebusan). Dalam proses penggilingan menggunakan mesin ini diberikan sedikit air agar hasil penggilingan halus dan juga dapat membersihkan sisa-sisa penggilingan sebelumnya. Bubur kacang kedelai

yang halus lebih menghasilkan banyak pati dibandingkan dengan bubur kacang kedelai yang kasar dan dapat memperkecil sampah atau ampas tahu serta dapat mempertinggi hasil produksi tahu.

## 2. Proses *Decoction*

Proses *decoction* merupakan proses perebusan bubur kedelai sampai pada titik didih tertentu agar mendapatkan bubur kedelai yang panas dan siap di reaksikan dengan air cuka sintetis dingin agar secepatnya membentuk gumpalan-gumpalan putih yang siap dicetak.

## 3. Proses *Sifting*

Proses *sifting* merupakan proses penyaringan bubur *soy-bean* halus dan panas hasil proses *decoction* untuk mendapatkan pati *soy-bean* yang siap direaksikan dengan air cuka sintetis dingin agar secepatnya bisa membentuk gumpalan-gumpalan yang siap dicetak. Proses ini dilakukan dengan menyaring bubur *soy-bean* panas ke alat *sifting* yang terbuat dari kain kasa.

## 4. Proses Peleburan

Proses peleburan merupakan proses pencampuran antara pati *soy-bean* panas (hasil proses *sifting*) dengan air asam cuka sintetis dingin, diaduk secara merata dan dapat menghasilkan gumpalan-gumpalan putih. Di proses inilah pengendapan tahu terjadi. Pengendapan tahu ini menggunakan cairan asam cuka yang telah disiapkan sebelumnya. Suhu yang dibutuhkan pada pengendapan ini adalah  $50^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$ . Air cuka yang telah dipilih dan dibuat harus ditempatkan pada air yang bersih dari segala macam kotoran dan sebaiknya tidak terkena sedikitpun garam karena garam tersebut dapat merusak kesatuan pati dari kacang kedelai saat melakukan proses peleburan. Yang dibutuhkan selain cuka adalah alat pentransfer asam cuka dan pengadukan untuk menyatukan asam cuka secara efektif. Apabila semua alat dan bahan sudah siap maka kita bisa memulai dengan memasukkan air cuka dingin yang telah dipilih ke wadah yang berisi pati *soy-bean* panas hasil dari proses *sifting* secukupnya dan diaduk sampai merata dan dibiarkan selama 60 detik agar siap dilanjutkan ke proses pencetakan. Sebelum melalui proses pencetakan, air asam cuka tadi harus dipisahkan terlebih dahulu dari gumpalan-gumpalan tadi untuk didinginkan agar tidak mengganggu proses peleburan selanjutnya.

## 5. Proses pencetakan

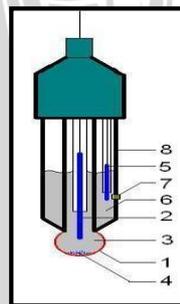
Proses pencetakan merupakan proses pengepresan pati *soy-bean* yang telah membentuk gumpalan-gumpalan putih hasil pelebunan ditempatkan pada alat cetak tertentu dan ditekan dengan alat penekan tertentu untuk menghasilkan tahu yang diinginkan. Selanjutnya tahu siap untuk dikonsumsi.

### 2.3 Sensor pH

Sensor pH merupakan elektroda gelas yang terdiri dari gelembung gelas sensitif pH pada ujungnya, berisi larutan klorida yang diketahui pHnya dan elektroda referensi. Biasanya berupa perak atau perak klorida atau calomel. Bahan gelas terbuat dari komposisi gelas khusus, yaitu sebagian dihidrasi alumunium silikon yang mengandung ion sidium atau kalsium dan sebagian kecil ion lantanida.

Bagian dalam dari gelas akan kontak dengan larutan 0,1 m HCl dan bagian luar kontak dengan larutan yang diukur pHnya. Pada setiap permukaan, membran gelas akan menyerap air dan membentuk lapisan gel. Ion hidrogen dari larutan dapat berdifusi melalui lapisan gel dan mengganti (pertukaran ion) ion sodium atau logam lain dalam struktur gelas. Hasil akhir dari proses difusi dan pertukaran ion adalah fase pengikatan tegangan pada kedua sisi membran gelas akan berubah, di mana besarnya ditentukan oleh aktivitas ion hidrogen dalam larutan yang diukur.

Ciri khas pH probe modern adalah kombinasi yang menggabungkan kedua elektroda kaca dan elektroda referensi menjadi satu bagian. Susunan dari elektroda tersebut ditunjukkan dalam keterangan nomor dalam Gambar 2.2 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Ilustrasi Penampang Melintang dari pH Probe (*Glass electrode scheme*)

- 1) Bola kaca pendeteksi dari *probe*, terbuat dari bahan kaca spesifik
- 2) Elektroda *internal* terbuat dari elektrode perak klorida atau elektrode *calomel*
- 3) Cairan *buffer* KCl dengan pH netral (pH = 7,0)
- 4) Endapan AgCl karena penggunaan elektrode perak klorida

- 5) Elektroda referensi dengan tipe dan bahan yang sama seperti nomor 2
- 6) Cairan referensi internal, biasanya terbuat 0,1 mol/L KCl
- 7) Sambungan poros yang terbuat dari keramik, untuk pengisian cairan *buffer*
- 8) Bagian luar probe terbuat dari kaca non konduktif

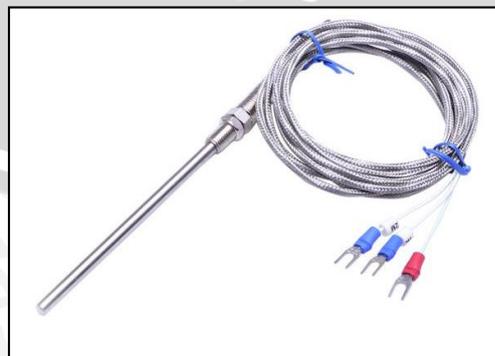
Berikut adalah karakteristik elektroda pH ideal:

- $V_0 = 0$  volt pada pH netral (pH=7)
- Tegangan keluaran positif pada kondisi asam (pH<7)
- Tegangan keluaran negatif pada kondisi basa (pH>7)
- Rentang pengukuran pH adalah 0-14, asam kuat hingga basa kuat
- Menghasilkan tegangan sebesar -59,16 mV per satuan pH pada suhu ruang atau sekitar 25° C.

#### 2.4 Sensor PT100

PT100 merupakan salah satu jenis sensor suhu yang terkenal dengan keakurasiannya. PT100 termasuk golongan RTD (Resistance Temperature Detector) dengan koefisien suhu positif, yang berarti nilai resistansinya naik seiring dengan naiknya suhu.

PT100 terbuat dari logam platinum. Oleh karenanya namanya diawali dengan 'PT'. Disebut PT100 karena sensor ini dikalibrasi pada suhu 0°C pada nilai resistansi 100 ohm. Alat ini menggunakan elemen sensitif dari kawat platina, tembaga, atau nikel murni, yang memberikan nilai tahanan yang terbatas untuk masing-masing temperatur di dalam kisaran suhunya. Semakin panas benda tersebut semakin besar atau semakin tinggi nilai tahanan listriknya, begitu juga sebaliknya. Gambar sensor PT100 dapat dilihat pada Gambar 2.2.

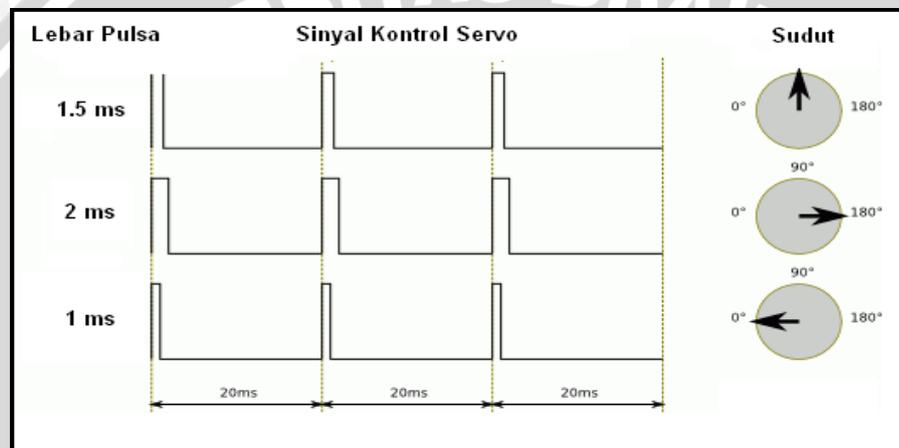


Gambar 2. 2 Sensor PT100 (es.aliexpress.com)

Menurut keakurasiannya, terdapat dua jenis PT100, yakni Class-A dan Class-B. PT100 Class-A memiliki akurasi  $\pm 0,06$  ohm dan PT100 Class-B memiliki akurasi  $\pm 0,12$  ohm. Keakurasi ini menurun seiring dengan naiknya suhu. Akurasi PT100 Class-A bisa menurun hingga  $\pm 0,43$  ohm ( $\pm 1,45^\circ\text{C}$ ) pada suhu  $600^\circ\text{C}$ , dan PT100 Class-B bisa menurun hingga  $\pm 1,06$  ohm ( $\pm 3,3^\circ\text{C}$ ) pada suhu  $600^\circ\text{C}$ .

## 2.5 PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan untuk mengatur sudut putaran motor servo. Gambar menunjukkan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur sudut motor servo.



Gambar 2. 3 Pengaturan Sudut Servo (Parallax, Inc.)

Dalam Gambar 2.3 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $0^\circ$ , jika diberi sinyal 1.5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $90^\circ$ , dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut  $180^\circ$ . Perhitungan rumus motor servo akan ditunjukkan persamaan sebagai berikut:

$$S = D(1000/180) + 1000 \mu\text{s} \text{ atau}$$

$$S = (5.555)D + 1000 \mu\text{s}$$

$S$  = Lebar Pulsa dalam  $\mu\text{s}$

$D$  = Sudut putar servo dalam derajat

## 2.6 Motor Direct Current (DC)

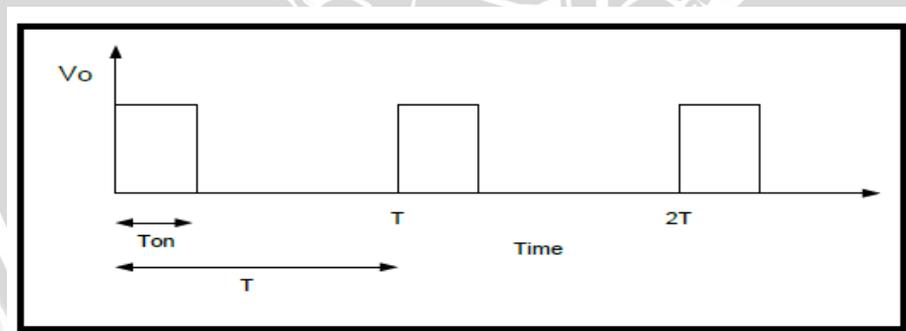
Motor DC merupakan salah satu penggerak utama yang banyak digunakan di industry masa kini. Motor DC merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang

mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya, memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (mixer, bor listrik, fan angin) dan di industri. Prinsip kerja motor DC sesuai dengan hukum kemagnetan Lorenz, yaitu membangkitkan fluksi magnet pada suatu konduktor berarus dalam medan magnet sehingga timbul ggl induksi. Setiap arus yang mengalir melalui sebuah konduktor akan menimbulkan medan magnet (Fathurohim, M. 2010).

Metode *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC. 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%-100%. Dengan mengatur *duty cycle* akan diperoleh keluaran yang diinginkan. (Alfarisi.R.,2011). *Duty cycle* adalah besarnya sinyal kontrol yang diberikan pada motor. Persamaan untuk perhitungan *duty cycle* ditunjukkan dalam persamaan 2.1 dengan  $T_{on}$  adalah periode logika tinggi, dan  $T$  adalah periode keseluruhan.

$$Duty\ cycle = T_{on}/T \times 100\% \quad (2.1)$$

Sinyal PWM secara umum ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Sinyal PWM

Keterangan:

$T_{on}$  = Periode logika tinggi

$T$  = Periode keseluruhan

$V_o$  = Amplitudo

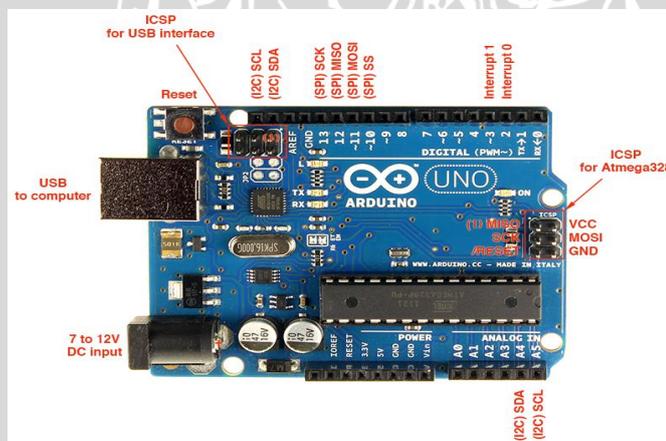
## 2.7 Pompa

Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (*suction*) dengan bagian keluar (*discharge*). Dengan kata lain, pompa berfungsi

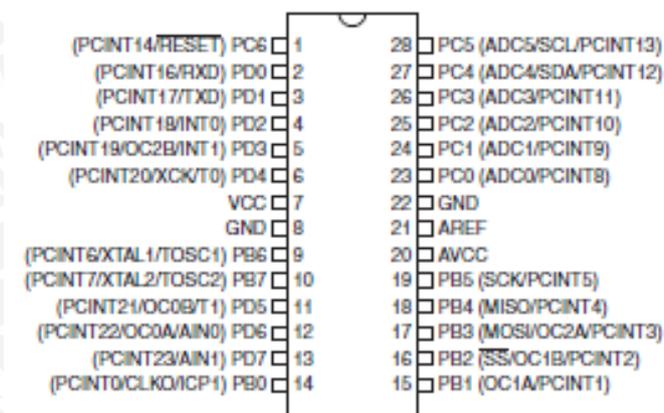
mengubah tekanan mekanis dari suatu sumber tenaga atau penggerak menjadi tenaga kinetis atau kecepatan. Tenaga ini berguna untuk mengalirkan cairan dan mengatasi hambatan yang ada di setiap proses yang kita jalankan. Pompa ini digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat lainnya melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan suatu energy pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung secara terus-menerus.

## 2.8 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO memuat semua yang kita butuhkan untuk menunjang mikrokontroler, serta mudah menghubungkannya ke sebuah computer dengan kabel USB atau mensuplainya sebesar 5 volt dengan sebuah *adaptor* AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulai menggunakannya. Arduino UNO ini memiliki 14 pin *digital input* dan *digital 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*. Skema Arduino UNO dan Konfigurasi pin ATmega328 ditunjukkan dalam Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2. 5 Skema Arduino UNO (electroschematics.com)



Gambar 2. 6 Konfigurasi Pin ATmega 328 (*Datasheet ATmega 328*)

## 2.9 Kontroler

salah satu komponen sistem pengaturan yang berfungsi mengolah sinyal umpan balik dan sinyal masukan acuan (*setpoint*) atau sinyal *error* mejadi sinyal kontrol. Sistem pengendalian dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengendalian adalah harus stabil. Di samping kestabilan mutlak, maka sistem harus memiliki kestabilan secara relatif, yakni tolak ukur kualitas kestabilan sistem dengan menganalisis sampai sejauh mana batas-batas kestabilan sistem tersebut jika dikenai gangguan (Ogata K.,1997). Selain itu analisis juga dilakukan untuk mengetahui bagaimana kecepatan sistem dalam merespons *input*, dan bagaimana peredaman terhadap adanya lonjakan (*over shoot*).

Suatu sistem dikatakan stabil jika diberi gangguan maka sistem tersebut akan kembali ke keadaan *steady state* di mana *output* berada dalam keadaan tetap seperti tidak ada gangguan. Sistem dikatakan tidak stabil jika *output*nya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengendalian biasanya melibatkan penyimpanan energi maka *output* sistem ketika diberi suatu *input*, tidak dapat mengikuti *input* secara serentak, tapi menunjukkan respon transien berupa suatu osilasi teredam sebelum mencapai *steady state*.

Dalam sistem pengendalian terdapat 2 macam loop:

### 1. Pengendalian dengan loop terbuka

Sistem kontrol loop terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol loop terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan balikan untuk dibandingkan dengan masukan.

### 2. Pengendalian dengan loop tertutup

Sistem kontrol loop tertutup adalah sistem kontrol yang keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Disebut juga sistem kontrol yang menggunakan umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem.

Untuk kontroler dengan aksi kontrol proporsional, hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  adalah:

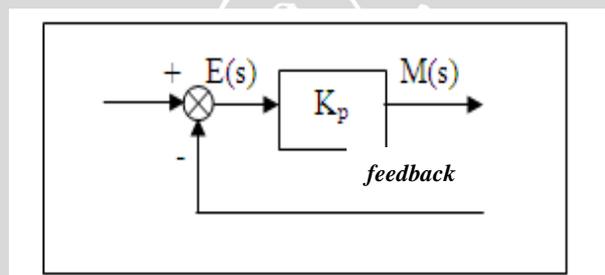
$$m(t) = K_p e(t)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$(M(s))/E(s) = K_p$$

Di mana  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2. 7 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata K., 1997)

### 2.10 Kontroler Proporsional (P)

Kontroler proporsional adalah sebuah kontroler yang memiliki karakteristik mempercepat respon. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  ditunjukkan pada persamaan 2.2:

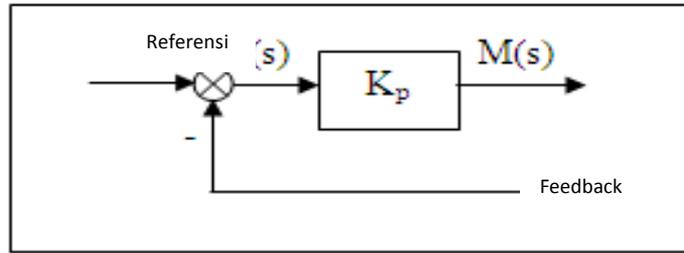
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.2)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace ditunjukkan pada persamaan 2.3

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (2.3)$$

Dimana  $K_p$  adalah kepekaan proporsional atau penguatan.

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggeraknya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur (Ogata K.,1997). Diagram blok kontroler proporsional ditunjukkan pada Gambar 2.6.



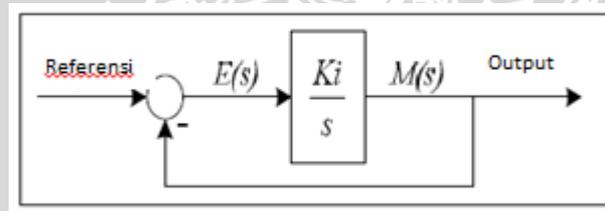
Gambar 2. 8 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata K., 1997)

### 2.11 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi *offset* yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler  $m(t)$  diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$ . Persamaan kontroler  $K_i$  ditunjukkan dalam persamaan 2.4. (Ogata K., 1997).

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \tag{2.4}$$

$K_i$  adalah penguatan integral. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler integral.



Gambar 2. 9 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata., 1997)

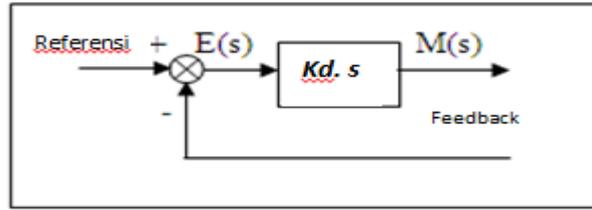
### 2.12 Kontroler Differensial (D)

Kontroler ini digunakan untuk memperbaiki atau mempercepat respons transien sebuah sistem kontrol dengan cara memperbesar *phase lead* terhadap penguatan kontrol dan mengurangi *phase lag* penguatan tersebut (Ogata K., 1997). Kontroler differensial tidak dapat mengeluarkan *output* bila tidak ada perubahan *input*, selain itu kontroler differensial tidak dapat digunakan untuk proses yang mengandung *noise*. Hubungan antara keluaran kontroler  $m(t)$  dan sinyal kesalahan penggerak  $e(t)$  dinyatakan pada persamaan 2.5 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \tag{2.5}$$

$K_d$  adalah penguatan diferensial. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok kontroler differensial.





Gambar 2. 10 Diagram Blok Kontroler Differensial (Ogata K., 1997)

### 2.13 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan *offset*, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan *load*.

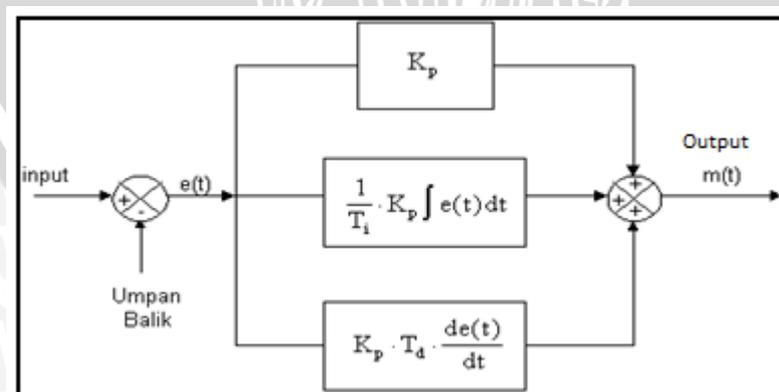
Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam persamaan 2.6 :

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.6}$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam persamaan 2.7 :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \tag{2.7}$$

$T_i$  adalah waktu integral dan  $T_d$  adalah waktu derivatif. Gambar 2.10 menunjukkan diagram blok kontroler PID.



Gambar 2. 11 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K., 1997)



## 2.14 Metode Perancangan Kontroler Proporsional Integral Diferensial (PID)

### Menggunakan *Root Locus*.

Rancangan sistem kendali loop tertutup menggunakan *root locus* memungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya beberapa letak *pole* sistem loop tertutup sehingga dapat mengatur tanggapan transien pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap (Philips,1996:209). Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode *root locus* yang dijelaskan dalam *Feedback Control System* oleh Charles L. Philips dan Royce D. Harbour dapat dilihat dalam Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2. 12 Sistem Kendali Loop Tertutup (Ogata K., 1997)

Untuk sistem tersebut, persamaan karakteristik diberikan persamaan 2.8

$$1 + Gc(s)Gp(s) = 0 \quad (2.8)$$

Misalkan diinginkan lokus akar melalui  $s = s_1$ , maka hasil dari persamaan ditunjukkan pada persamaan 2.9.

$$\begin{aligned} Gc(s_1)Gp(s_1) &= -1 \\ Gc(s_1)|Gp(s_1)|e^{j\psi} &= 1e^{j\pi} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh persamaan 2.10.

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd s \quad (2.10)$$

Perhitungan dari persamaan 2.9 ditunjukkan pada persamaan 2.11,

$$Gc(s_1) = \frac{1}{|Gp(s_1)|} e^{j(\pi-\psi)} \quad (2.11)$$

Substitusi persamaan 2.11 pada persamaan 2.9 didapatkan persamaan 2.12,

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\Pi-\psi)}}{Gp(s_1)} \quad (2.12)$$

Dengan

$$s_1 = |s_1| e^{j\beta} \quad (2.13)$$

Hasil dari substitusi persamaan 2.13 ke persamaan 2.12, didapatkan pada persamaan 2.14.

$$\begin{aligned} & Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki \\ &= \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} [\cos(\beta + \Pi - \psi) + j \sin(\beta + \Pi - \psi)] \end{aligned} \quad (2.14)$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapatkan hasil pada persamaan 2.15

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\beta + \Pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\beta + \Pi + \psi) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Atau dapat ditunjukkan pada persamaan 2.16.

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{Gp(s_1)} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Dari persamaan dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan Kp, Ki, Kd, harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai pada persamaan dibuat sama dengan nol.

## 2.15 Kompiler Listrik

Kompiler listrik adalah kompor yang energinya berasal dari listrik. Berbeda dengan kompor gas biasa dimana energi panasnya didapat dari pembakaran gas,

kompur listrik mendapatkan energi panas dari pemanasan elemen pemanas di dalamnya. Kompur listrik cenderung lebih praktis daripada kompur gas karena pengguna tinggal menyambungkan kompur tersebut pada sumber listrik untuk melakukan pemanasan. Kekurangan kompur listrik adalah membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memanaskan elemen pemanas di dalamnya.

Prinsip kompur listrik tipe induksi pada dasarnya kawat konduktor dialiri arus listrik, maka di sekelilingnya akan terbentuk garis gaya magnet. Jika kawat konduktor itu dibentuk kumparan dan di dekatnya diletakkan materi yang dapat menghantarkan listrik (biasanya logam), maka logam tersebut akan menerima pengaruh garis gaya magnet lalu di dalam logam tersebut akan mengalir arus eddy. Setiap logam biasanya memiliki hambatan listrik, dan arus yang mengalir dalam logam tersebut akan menghasilkan joule heating sebesar  $P = I^2 \times R$ , dimana P adalah daya, I untuk arus, dan R untuk hambatan. Daya yang keluar ini, merupakan daya dari proses induksi.

Kompur listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah kompur listrik induksi Sigmatic SPC 1 EC. Kompur listrik tersebut memiliki rentang kerja daya antara 80-700 Watt. Kompur induksi bekerja akibat efek induksi yang diakibatkan oleh arus listrik yang melewati kumparan yang ada dalam kompur tersebut. Sama seperti kompur listrik biasa, kompur induksi juga menggunakan energi listrik. Perbedaannya terletak dari cara kerjanya. Kompur listrik biasa menggunakan filamen untuk menghasilkan panas, sedangkan kompur induksi menggunakan alat masak itu sendiri (panci atau kualii) untuk menghasilkan panas. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk fisik kompur listrik induksi Sigmatic SPC1EC-Putih.



Gambar 2. 13 Kompur Listrik (www.blanja.com)

## 2.16 Motor Servo

Berbeda dengan motor DC dan motor Stepper, motor servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali

ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri atas sebuah motor, serangkaian *internal gear*, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut putaran servo. Sedangkan sudut sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

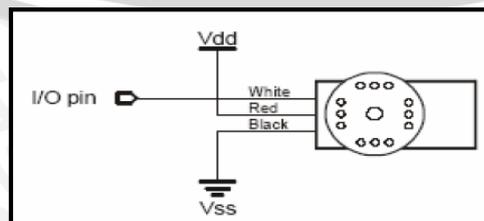
Motor servo mampu bekerja dua arah (*CW* dan *CCW*) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan hanya dengan memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal *PWM* pada bagian pin kontrolnya. Gambar 2.8 menunjukkan gambar fisik motor servo.



Gambar 2. 14 Motor Servo Parallax (Parallax, Inc.)

Motor servo merupakan motor yang berputar lambat, dimana biasanya ditunjukkan oleh rate putarannya yang lambat, namun demikian memiliki torsi yang kuat karena *internal gear*-nya. Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi pin pengkabelan motor servo. Karakteristik motor servo adalah sebagai berikut :

- Memiliki 3 jalur kabel : *power, ground, dan control*. Gambar 2.15 menjelaskan 3 jalur kabel pada motor servo
- Pin *Control* untuk mengendalikan posisi.
- Operasional dari servo motor dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar  $\pm 20$  ms, dimana lebar pulsa antara 0.5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum.
- Konstruksi didalamnya meliputi *internal gear, potensiometer, dan feedback control*.



Gambar 2.15 Konfigurasi Pin Pengkabelan Motor Servo(Sumber : Parallax, Inc.)

Secara umum terdapat dua jenis motor servo, yaitu :

- Motor Servo *Standar 180°*

Motor servo jenis ini merupakan motor yang hanya mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan mempunyai *defleksi* masing-masing sudut mencapai 90° sehingga total *defleksi* sudut dari kanan–tengah–kiri adalah 180°.

- Motor Servo *Continuous*

Motor servo jenis ini mampu bergerak dua arah (*CW* dan *CCW*) dan tanpa batasan *defleksi* sudut putar (dapat berputar secara kontinyu) sehingga motor ini berputar 360°.

Pengaturan sudut motor servo diperlukan untuk mengetahui gerakan dari motor servo dan pulsa yang harus diberikan untuk bergerak kekanan atau bergerak kekiri.

Dalam Gambar 2.10 diasumsikan bahwa saat diberikan sinyal periodik dengan lebar 1 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 0°, jika diberi sinyal 1,5 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 90°, dan jika diberi sinyal 2 ms maka motor servo akan bergerak dengan sudut 180°. Dari kondisi tersebut bisa ditarik kesimpulan bahwa untuk mengatur sudut putaran motor servo diperlukan sinyal dengan lebar pulsa seperti pada persamaan berikut:

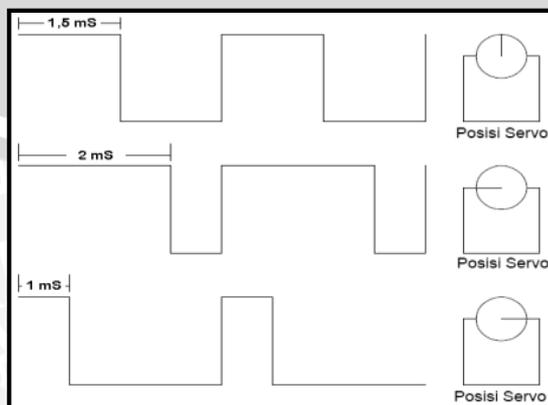
$$S = D \left( \frac{1000}{180} \right) + 1000 \mu s \dots\dots\dots (2.7)$$

atau

$$S = (0,18)D + 1000 \mu s \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana: *S = Lebar Pulsa dalam μs*

*D = Sudut putar servo dalam derajat*



Gambar 2. 16 Pengaturan Sudut Motor Servo (Parallax, Inc.)