

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anggrek

Suku anggrek-anggrekan (bahasa Latin: Orchidaceae) merupakan satu suku tumbuhan berbunga dengan anggota jenis terbanyak. Jenis-jenisnya tersebar luas dari daerah tropika basah hingga wilayah sirkumpolar, meskipun sebagian besar anggotanya ditemukan di daerah tropika. Kebanyakan anggota suku ini hidup sebagai epifit, terutama yang berasal dari daerah tropika. Anggrek di daerah beriklim sedang biasanya hidup di tanah dan membentuk umbi sebagai cara beradaptasi terhadap musim dingin. Organ-organnya yang cenderung tebal dan "berdagang" (sukulen) membuatnya tahan menghadapi tekanan ketersediaan air. Anggrek epifit dapat hidup dari embun dan udara lembap (Hadi Iswanto, 2002).



Gambar 2.1 Anggrek bulan (www.aos.com, 2013)

Anggrek dikenal sebagai tanaman hias populer yang dimanfaatkan bunganya. Bunga anggrek sangat indah dan variasinya hampir tidak terbatas. Anggrek biasa dijual sebagai tanaman pot maupun sebagai bunga potong. Indonesia memiliki kekayaan jenis anggrek yang sangat tinggi, terutama anggrek epifit yang hidup di pohon-pohon hutan, dari Sumatera hingga Papua. Anggrek bulan adalah bunga pesona bangsa Indonesia.

Jenis anggrek yang terdapat di Indonesia termasuk jenis yg indah antara lain: Vanda tricolor terdapat di Jawa Barat & di Kaliurang, Vanda hookeriana, berwarna ungu berbintik-bintik berasal dari Sumatera, anggrek larat (*Dendrobium phalaenopsis*), anggrek bulan (*Phalaenopsis amabilis*), anggrek Apple Blossom, anggrek Paphiopedilum praestans yg berasal

dr Irian Jaya serta anggrek *Paphiopedilum glaucophyllum* yang berasal dr Jawa Tengah (Sri Sugiarti, 2003).

Pertumbuhan tanaman anggrek sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor baik faktor dari dalam angrek itu sendiri maupun faktor luar. Faktor dari dalam angrek itu yakni faktor genetik atau jenis anggrek itu, termasuk anggrek alam atau silangan. Faktor luar yang mempengaruhi yakni intensitas penyinaran cahaya matahari pagi, suhu, kelembaban udara, serta kecocokan tempat dan media tumbuh, sirkulasi udara, repotting dan serangan hama dan penyakit tanaman. Oleh karena itu, teknik budi daya anggrek terutama dalam hal perawatan tanaman perlu diperhatikan sekali agar proses pertumbuhannya dapat dipacu guna meningkatkan kualitas dan kuantitas tanaman anggrek (Hadi Iswanto, 2002).

Dalam penelitian ini penulis menggunakan tanaman anggrek jenis bulan sebagai obyek penelitian, dimana anggrek bulan ini membutuhkan Intensitas sinar matahari, semi teduh atau semi naungan, suhu udara yang disukai anggrek bulan yakni 23⁰C. Kelembaban udara (RH), spesifikasi iklim yang ideal antara 60%-70%. Adapun beberapa faktor dari dalam yang sangat mempengaruhi dalam perkembangbiakan tanaman anggrek yakni:

2.1.1 Intensitas Cahaya

Cahaya matahari sangat penting bagi tanaman anggrek, dimana intensitas cahaya matahari ini berpengaruh pada sifat morfologi tanaman. Namun kebutuhan akan intensitas cahaya pada tanaman anggrek berbeda-beda tergantung dari jenisnya.

Tanaman anggrek yang mendapat intensitas cahaya yang melebihi kebutuhan optimum tanaman maka akan menyebabkan tanaman menjadi layu, fotosintesis menjadi lambat respirasi meningkat. Namun jika tanaman anggrek kurang mendapat cahaya matahari atau dalam keadaan yang terlalu teduh maka akan berakibat angrek akan memiliki akar yang lebih pendek, proses asimilasi berkurang, tanaman akan terlihat pucat dan lemah, sulit berbunga jika pun berbunga, warna bunga tidak akan secerah warna bunga yang cukup terkena sinar matahari, bunga akan mudah sekali layu dan gugur (Hadi Iswanto, 2002).

2.1.2 Suhu

Suhu berpengaruh pada pertumbuhan dan pembungaan anggrek. Setiap anggrek akan melakukan penyesuaian terhadap suhu disekitarnya, hal ini akan mempengaruhi pertumbuhan

anggrek baik itu pertumbuhan secara vegetative maupun generative. Suhu yang terlalu dingin akan menyebabkan daunnya menguning dan akhirnya mudah rontok, sedangkan suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan tanaman layu dan kering.

Berdasarkan kisaran suhu udara yang sesuai untuk pertumbuhannya, anggrek digolongkan dalam 3 jenis, yaitu :

- Anggrek suhu dingin
Adalah anggrek yang tumbuh di daerah bersuhu dingin (gunung, daratan dengan ketinggian 2000-4000 m dari permukaan laut). Anggrek ini tumbuh baik pada suhu 18° - 21°C pada siang hari dan 13° - 18°C pada malam hari. Contoh anggrek jenis ini adalah dari genus : *Miltonia*, *Masdevalia*, *Odontoglossum*.
- Anggrek suhu sedang
Adalah anggrek yang membutuhkan suhu yang sejuk sampai dingin (dataran tinggi 750 - 2000 m dari permukaan laut). Anggrek tumbuh baik pada suhu 21° - 24°C pada siang hari dan 18° - 21°C pada malam hari. Contoh anggrek jenis ini adalah : *Brassavola*, *Cattleya*, *Laelia*, beberapa jenis *Dendrobium*
- Anggrek suhu panas
Adalah anggrek yang membutuhkan suhu hangat sampai panas (dataran rendah 0 - 750 m dari permukaan laut). Anggrek tumbuh baik pada suhu 24° - 29°C pada siang hari dan 21° - 24°C pada malam hari. Contoh anggrek jenis ini adalah : *Arachis*, *Vanda*, sebagian *Dendrobium* (Hadi Iswanto, 2002).

2.1.3 Kelembaban

Kelembaban udara juga berpengaruh pada tanaman anggrek., tanaman anggrek memiliki kebutuhan kelembaban udara yang berbeda pada saat siang dan malam hari. Pada siang hari kelembaban yang dibutuhkan tinggi untuk menghindari penguapan yang terlalu besar sedangkan pada malam hari kebutuhan kelembaban haruslah tidak boleh terlalu tinggi dikarenakan dapat membuat tanaman anggrek terserang jamur (Hadi Iswanto, 2002).

2.2 Sensor Suhu dan Kelembaban SHT-11

SHT-11 Modul merupakan modul sensor suhu dan kelembaban relatif . Modul ini dapat digunakan sebagai alat pengindra suhu dan kelembaban dalam aplikasi pengontrol suhu

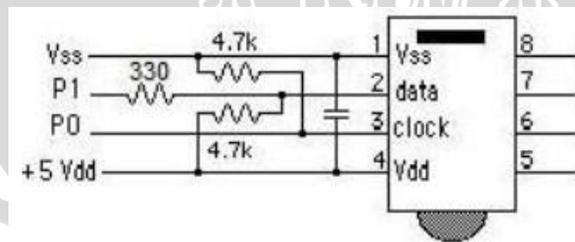
dan kelembaban ruangan maupun aplikasi pemantau suhu dan kelembaban relatif ruangan. Sensor SHT11 ini adalah sensor suhu dan kelembaban relatif berbasis sensirion SHT11.

Sensor SHT11 Dapat Mengukur suhu dari -40C hingga +123,8C, atau dari -40F hingga +4,9F dan kelembaban relatif dari 0%RH hingga 1%RH. Memiliki ketetapan (akurasi) pengukuran suhu hingga 0,5C pada suhu C dan ketepatan (akurasi) pengukuran kelembaban relatif hingga 3,5%RH. Memiliki atarmuka serial synchronous 2-wire, bukan I2C. Jalur antarmuka telah dilengkapi dengan rangkaian pencegah kondisi sensor lock-up. Sensor SHT-11 Membutuhkan catu daya +5V DC dengan konsumsi daya rendah 30 μ W dan memiliki faktor bentuk 8 pin DIP 0,6sehingga memudahkan pemasangannya.

Pin yang digunakan pada sensor ini ada dua pin yaitu pin SCK dan pin DATA. Pin SCK berfungsi untuk mensinkronisasikan komunikasi antara sensor dan Arduino, sedangkan pin DATA berfungsi untuk mentransfer data in dan out pada sensor. Dibawah ini gambar 2.2 menunjukkan sensor SHT-11 dan gambar 2.3 menunjukkan rangkaian sensor suhu dan kelembaban (SHT-11).

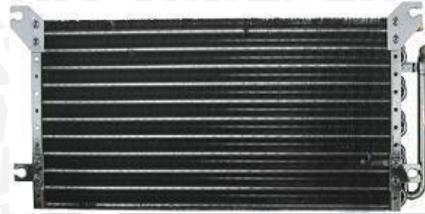


Gambar 2.2 Sensor SHT-11 (www.sensirion.com)



Gambar 2.3 Rangkaian Sensor SHT-11 (www.sensirion.com)

tinggi berubah menjadi cairan yang bertekanan tinggi yang kemudian akan dialirkan ke *receiver dryer* dan dilanjutkan ke ekspansi *valve*.



Gambar 2.6 Kondensor ([www. acrisoft.com.br](http://www.acrisoft.com.br))

Ketika gas *freon* yang telah di pompa oleh kompresor akan masuk kedalam kondensor dalam wujud gas bertekanan tinggi dan bersuhu sangat panas. Hembusan angin dari fan yang berada didekat kondensor akan membuang panas yang di hasilkan serta menurunkan tekanan freon dan terjadi perubahan wujud dari gas menjadi cair. Selanjutnya Tabung *receiver dryer* didalam bertugas untuk memastikan bahwa *freon* yang keluar dari kondensor adalah *freon* cair, sebelum disalurkan ke evaporator.

2.6 Evaporator

Fungsi Evaporator adalah sebagai penampung dingin dari *freon* yg sudah berubah wujud menjadi cair setelah melewati pipa kapiler. Didalam evaporator yg hampa udara, freon akan menguap dan mengambil panas pada pipa-pipa yg berada pada evaporator sehingga pipa-pipa di evaporator menjadi dingin, dan membuang dinginnya dengan hembusan sebuah *fan* motor dengan daun kipas yg berbentuk blower.



Gambar 2.7 Evaporator (www.diytrade.com)

2.7 Blower / Fan

Blower / Fan adalah aktuator yang digunakan untuk menurunkan suhu dengan cara menghembuskan udara dingin dari evaporator ke dalam *plant* (box angrek).



Gambar 2.8 Blower / fan (www.globalindustrial.com)

2.8 Pompa DC dan *Sprinkle Mist*

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan yang berlangsung secara terus menerus.

Prinsip dari kerja pompa adalah dengan membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk dengan bagian keluar. Pada penelitian ini jenis pompa yang digunakan adalah pompa motor DC yang digunakan sebagai aktuator untuk menaikkan kelembaban di dalam plant dengan cara menghisap air dari dalam wadah air kemudian dikeluarkan melalui sprinkle dalam bentuk embun.



Gambar 2.9 Pompa DC (Ria Prasetyo, 2013)



Gambar 2.10 Sprinkle mist (www.aliexpress.com)

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 pengontrolan dirancang untuk melakukan dan menyelesaikan tugas tertentu. Syarat utama sistem pengontrolan 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 outputnya berosilasi terus menerus ketika dikenai suatu gangguan. Karena suatu sistem pengontrolan 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 pengontrolan terdapat 2 macam loop:

1) Pengontrolan 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) Pengontrolan 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.

2.9.1 Kontroler On-Off

Pada sistem kontrol dua posisi, elemen penggerak hanya mempunyai dua posisi yang tetap. Sinyal kontrol akan tetap pada satu keadaan dan akan berubah ke keadaan lainnya bergantung pada nilai error positif atau negatif. Misal sinyal keluaran kontroler adalah $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak adalah $e(t)$ dan M_1 dan M_2 adalah konstanta. Pada control on-

off sinyal $m(t)$ akan tetap pada harga maksimum atau minimum, tergantung pada tanda sinyal kesalahan penggerak, positif atau negatif

$$m(t) = M_1, e(t) > 0 \quad (2.1)$$

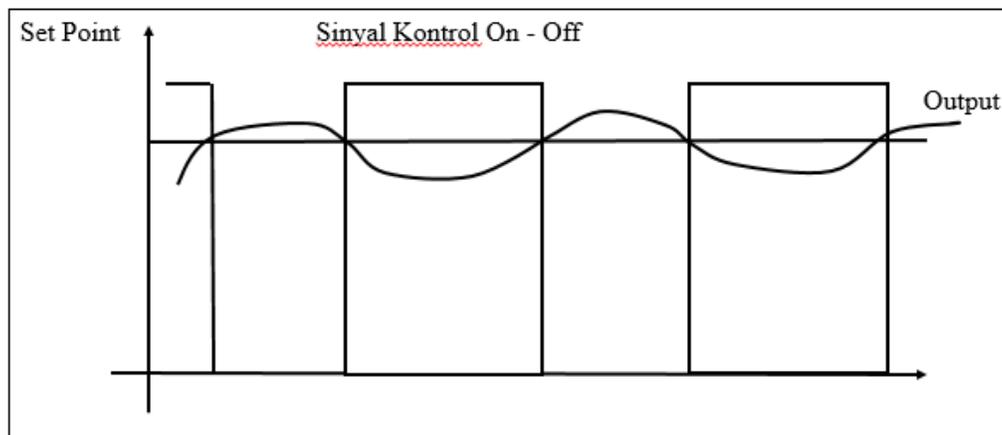
$$= M_2, e(t) < 0 \quad (2.2)$$

dimana:

$m(t)$ = sinyal keluaran kontroler

$e(t)$ = sinyal error

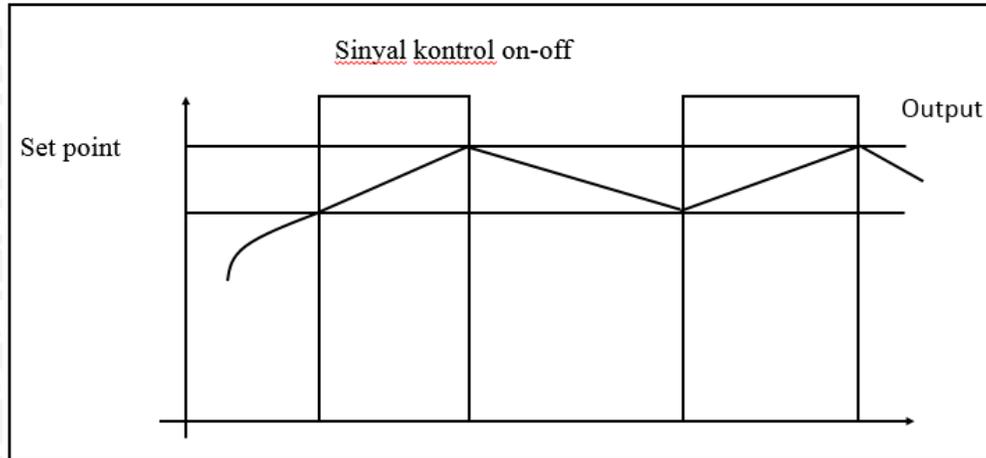
Jika *output* lebih besar dari *setpoint*, aktuator akan off. Output akan turun dengan sendirinya sehingga menyentuh *setpoint* lagi. Pada saat itu, sinyal kontrol akan kembali (aktuator on) dan mengembalikan output kepada *setpoint*-nya. Demikian seterusnya sinyal kontrol dan aktuator akan on-off terus menerus. Seperti ditunjukkan dalam ilustrasi gambar 2.11



Gambar 2.11 Ilustrasi dari kontroler on-off (reocities.com)

Kelemahan dari kontroler on-off ini adalah jika output beresilasi di sekitar set point (keadaan yang memang diinginkan) akan menyebabkan aktuator bekerja keras untuk *on-off* dengan frekuensi. Hal ini menyebabkan kontroler akan cepat aus dan memakan energi yang banyak (boros).

Untuk sedikit mengatasi hal ini maka dibuat suatu band pada setpoint sehingga mengurangi frekuensi on-off dari controller. Seperti dalam gambar 2.12.



Gambar 2.12 Ilustrasi band pada setpoint kontroler on-off (reocities.com)

Sinyal kontrol akan *off* ketika output menyentuh batas atas dan akan *on* kembali ketika menyentuh batas bawah. *Band* dari set point ini disebut juga diferensial gap atau celah diferensial

2.9.2 Diskritisasi

Banyak cara yang dapat digunakan untuk proses diskritisasi (mengubah bentuk analog menjadi diskrit), tiga diantaranya yang banyak digunakan dalam bidang kontrol adalah *backward difference*, *forward difference* (metode Euler) dan *bilinear transformation*. Semua metode yang digunakan hanya merupakan pendekatan (*approximations*), sehingga hasilnya tidak akan persis sama dengan bentuk analog. Hal ini dikarenakan bentuk diskrit selalu ada sebagian informasi yang hilang, yaitu informasi yang terjadi antara satu cuplikan dengan cuplikan lainnya walaupun frekuensi cuplik yang digunakan tinggi dan karena formula matematika yang digunakan dalam proses diskritisasi juga diturunkan berdasarkan pendekatan agar lebih mudah digunakan.

Menurut teori sampling Nyquist dan Shannon mengatakan bahwa jika suatu fungsi waktu $e(t)$ tidak mengandung komponen frekuensi yang lebih tinggi dari f_0 hertz, dalam hal ini nilai dari $e(t)$ dapat ditentukan dengan memberikan titik sampling berjarak $1/2f_0$ detik terpisah.

Berikut tahapan diskritisasi yang dapat digunakan:

- 1 Tulis algoritma analog dalam bentuk transformasi laplace.

2 Lakukan diskritisasi menjadi bentuk transformasi Z dengan mengganti operator s dengan menggunakan salah satu dari tiga metode diskritisasi, yaitu:

- *Backward difference* :

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T_s} \quad (2.3)$$

- *Forward difference* :

$$s = \frac{1 - z^{-1}}{T_s z^{-1}} \quad (2.4)$$

- *Bilinear transform* :

$$s = \frac{2(1 - z^{-1})}{T_s(1 + z^{-1})} \quad (2.5)$$

Dimana T_s adalah waktu cuplik (*time sampling*)

Hingga tahap 2, algoritma sudah didapat dalam bentuk diskrit yang dinyatakan dalam transformasi Z. Pada implementasinya, bentuk transformasi Z tersebut perlu diubah menjadi time domain (persamaan beda), yaitu dengan mengubah operator z^n menjadi n kali waktu delay z^{-1} berarti 1 kali waktu delay, z^{-2} berarti 2 kali waktu delay dan seterusnya).

2.9.3 Kontroler Proporsional

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

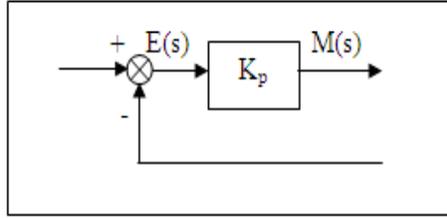
$$m(t) = K_p e(t) \quad (2.6)$$

atau, dalam besaran transformasi Laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p e(t) \quad (2.7)$$

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). Gambar 2.13 menunjukkan blok diagram kontroler proporsional.

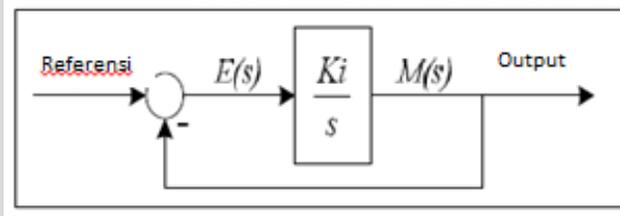


Gambar 2.13 Diagram Blok Kontroler Proporsional (Ogata K, 1997)

2.9.4 Kontrol Integral

Kontroler integral memiliki kemampuan untuk mengurangi offset yang ditinggalkan oleh kontroler proporsional. Harga keluaran kontroler $m(s)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(s)$. Persamaan kontroler K_i (penguatan integral) ditunjukkan pada (persamaan 2.8) sebagai berikut (Ogata K.,1997). Gambar 2.14 menunjukkan blok diagram kontroler integral.

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \tag{2.8}$$

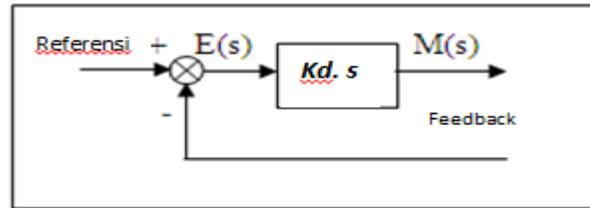


Gambar 2.14 Diagram Blok Kontroler Integral (Ogata K, 1997)

2.9.5 Kontroler Differensial

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 2.9):

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d \cdot s \tag{2.9}$$



Gambar 2.15 Diagram Blok Kontroler Differensial (Ogata K, 1997)

2.9.6 Kontroler Proporsional Integral Differensial (PID)

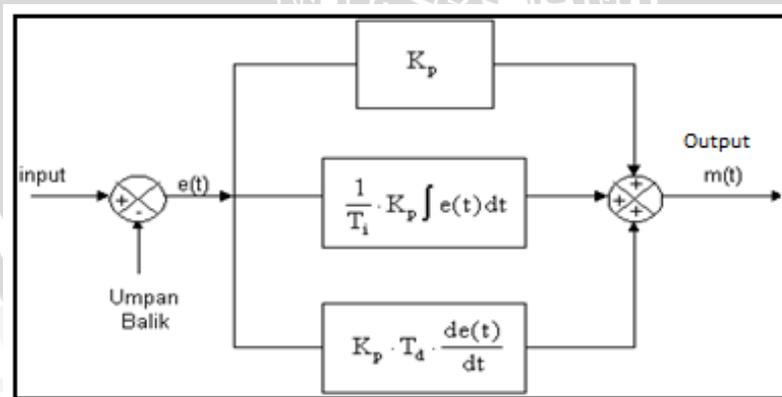
Gabungan aksi kontrol proporsional, integral, dan differensial mempunyai keunggulan dibandingkan dengan masing-masing dari tiga aksi kontrol tersebut. Masing – masing kontroler P, I, maupun D berfungsi untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan offset, dan mendapatkan energi ekstra ketika terjadi perubahan keadaan. Persamaan kontroler PID ini dapat dinyatakan dalam (persamaan 2.10):

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot e(t)dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

Dalam transformasi Laplace dinyatakan dalam (persamaan 2.11):

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (2.11)$$

Ti adalah waktu integral dan Td adalah waktu derivatif.



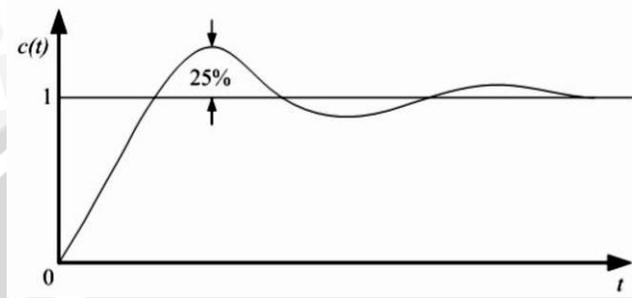
Gambar 2.16 Diagram Blok Kontroler PID (Ogata K, 1997)

2.9.7 Ziegler-Nichols

Ziegler dan Nichols mengemukakan aturan-aturan untuk menentukan nilai dari gain proporsional Kp, waktu integral Ti, dan waktu derivatif Td berdasarkan karakteristik respon

transien dari plant yang diberikan. Penentuan parameter kontroler PID atau penalaan kontroler PID tersebut dapat dilakukan dengan bereksperimen dengan *plant*.(Ogata, K., 1997)

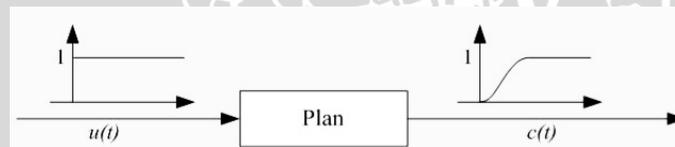
Terdapat dua metode yang disebut dengan aturan penalaan Ziegler-Nichols, pada kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu untuk mencapai % *maximum overshoot* pada respon unit step, seperti ditunjukkan dalam pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 kurva Respon Unit Step yang Menunjukkan % *Maximum Overshoot* (Ogata K, 1997)

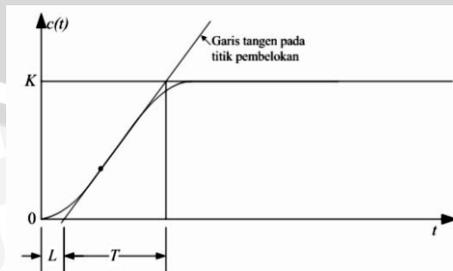
a) Metode Pertama

Metode pertama atau sering disebut metode kurva reaksi, respon dari plan dapat dapat diperoleh secara eksperimental dengan masukan berupa unit step, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.18



Gambar 2.18 Respon Plant Terhadap Masukan Berupa Unit Step (Ogata, K. 1997)

Jika dalam plan tersebut terdapat integrator atau dominan complex-conjugate poles, maka kurva respon unit step berbentuk seperti huruf S, seperti dalam gambar dibawah ini jika respon tidak memberikan bentuk kurva S, maka metode ini tidak berlaku.(Ogata, K., 1997).



Gambar 2.19 Kurva Respon yang Berbentuk S (Ogata K, 1997)

Kurva berbentuk S tersebut dapat dikarakteristikan menjadi dua konstanta yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T . Waktu tunda dan konstanta waktu ditentukan dengan menggambar sebuah garis tangen pada titik pembelokan dari kurva S, dan menentukan perpotongan antara garis tangen dengan sumbu waktu t dan sumbu $c(t) = K$, seperti yang telah ditunjukkan dalam gambar Fungsi alih $C(s)/U(s)$ dapat dilakukan pendekatan dengan sistem orde satu dengan (persamaan 2.12) sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (2.12)$$

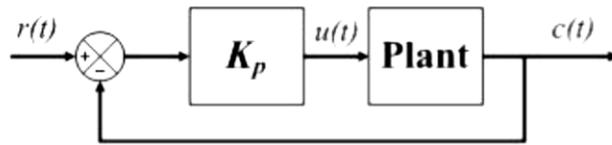
Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menentukan nilai-nilai dari K_p , T_i dan T_d berdasarkan pada formula yang ditunjukkan dalam Gambar Tabel 2.1 (Ogata, K., 1997).

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5 L$

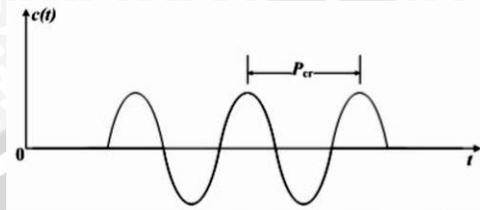
Tabel 2.1 Aturan Penalaran Ziegler – Nichols Berdasarkan Respon Unit Step dari Plan (Ogata, K., 1997)

b) Metode Kedua

Dalam metode kedua ziegler-nichols, mula-mula yang dilakukan adalah membuat $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (Jika keluaran tidak memiliki osilasi berkesinambungan untuk nilai K_p manapun yang telah diambil, maka metode ini tidak berlaku). Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan. Diagram blok sistem loop tertutup dengan kontroler proporsional dapat dilihat dalam Gambar 2.20. dan untuk osilasi berkesinambungan dengan periode P_{cr} dapat dilihat dalam gambar 2.21. Ziegler dan Nichols menyarankan penyetelan nilai parameter K_p , T_i , T_d dan berdasarkan rumus yang diperlihatkan dalam tabel 2.2 (Ogata, K., 1997).



Gambar 2.20 Sistem Loop Tertutup Dengan Kontroler Proporsional (Ogata K, 1997)



Gambar 2.21 Osilasi Berkesinambungan Dengan Periode P_{cr} (Ogata K, 1997)

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	0.5 K_{cr}	∞	0
PI	0.45 K_{cr}	$\frac{1}{1,2} P_{cr}$	0
PID	0.60 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.1 P_{cr}

Tabel 2.2 Aturan Dasar Ziegler-Nichols Berdasarkan Critical Gain K_{cr} dan Critical Period P_{cr} (Ogata, K., 1997)

2.10 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega 2560. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, jack power, header ICSP, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega60 kompatibel dengan sebagian besar shield yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega 2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega. Tampilan Arduino Mega dapat dilihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Arduino Mega 2560 (m.forocoches.com)

Arduino Mega 2560 memiliki 6 KB flash memory untuk menyimpan kode (yang 8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM. Masing-masing dari 54 digital pin pada Arduino Mega dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Arduino Mega beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal (yang terputus secara default) sebesar 20-50 kOhms.

