

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka berisi mengenai dasar teori yang digunakan pada tugas akhir ini.

2.1 *Water Treatment Plant*

Water treatment plant merupakan sistem yang berfungsi untuk mengolah suatu air yang memiliki kualitas baku yang terkontaminasi menjadi suatu air yang memiliki kualitas air yang diinginkan dengan standar mutu yang telah ditentukan. *Water treatment plant* memiliki suatu sistem yang dapat dikombinasikan suatu proses koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan disinfeksi. Pada suatu instalasi pada *water treatment plant* ini didesain dengan baik untuk menghasilkan air layak yang akan dikonsumsi (Nugraha et al., n.d.).

2.2 *Pemodelan Matematis Water Treatment Plant*

Pada *water treatment plant* terjadi proses pembersihan air, dimana air ini akan dilakukan filterisasi. Pemodelan matematis dari *level* tangki *water treatment plant* dapat dituliskan dengan persamaan hukum kesetimbangan massa yang dilihat pada persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 (Pritandi, 2016)

$$\left[\begin{array}{l} \text{Jumlah} \\ \text{debit air} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Debit air yang masuk} \\ \text{kedalam tangki} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Debit air yang keluar} \\ \text{dari tangki} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

$$Q = Q_{in} - Q_{out} \quad (2.2)$$

(Pritandi, 2016)

2.3 Pemodelan Matematis *Transmitter*

Level transmitter dapat digunakan untuk mengukur nilai variabel suatu proses, yaitu *level* air dalam *water treatment plant* yang juga dapat mentransmisikan suatu hasil konversi ke besaran elektrik hingga dapat diproses oleh *controller*. Fungsi alih sebuah *level transmitter* ditunjukkan pada persamaan 2.3 (Seborg et al., 2011).

$$MV_{LT}(s) = \frac{G_{LT}}{\tau_{LT}s + 1} \quad (2.3)$$

(Seborg et al., 2011)

Nilai G_{LT} merupakan nilai dari *gain level transmitter* dan τ_{LT} adalah *time constant level transmitter*

2.4 Pemodelan Matematis *Control Valve*

Dalam suatu sistem pengendalian *level* ketinggian air dalam *water treatment plant* maka dibutuhkan sebuah *control valve* yang bertujuan untuk mengatur *level* air pada sebuah tangki. *Control valve* sendiri mampu mengalirkan aliran air yang memiliki tujuan untuk menjaga variabel dari suatu proses agar mampu mencapai sebuah kondisi terdekat dengan *setpoint* yang diberikan (Emerson Fisher, 2005). Model persamaan matematis dari *control valve* dapat dilihat pada persamaan 2.4 (Coughanowr, Donald R, 2009).

$$MV_{cv}(s) = \frac{G_{cv}}{\tau_{cv}s + 1} \quad (2.4)$$

Untuk mendapatkan nilai *gain control valve* (G_{cv}), dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.5.

$$G_{CV} = K_{I/P} \times K_{Actuator} \quad (2.5)$$

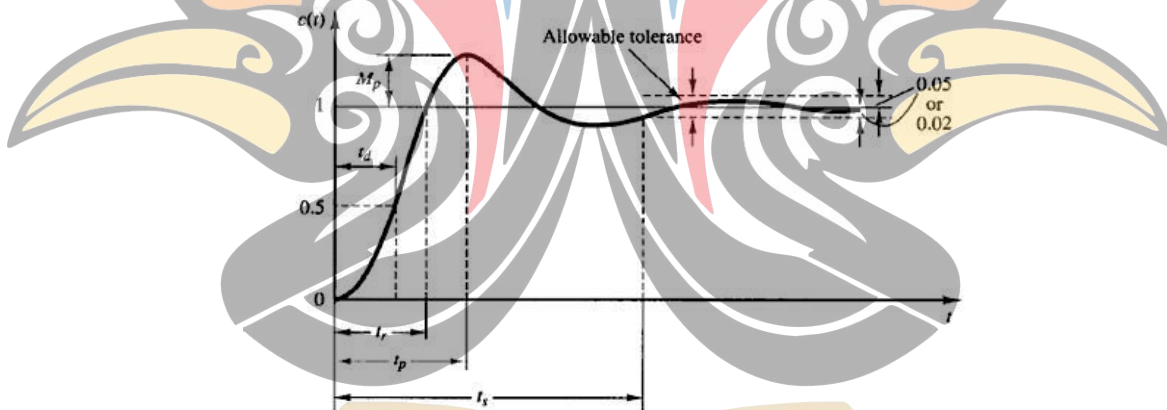
Gain dari transducer dan actuator dapat diperoleh dari persamaan 2.6.

$$K_{I/P} = \frac{Span_{output}}{Span_{input}} \quad (2.6)$$

(Seborg et al., 2011)

2.5 Respon Sistem

Karakteristik performa suatu sistem kontrol sering sekali dinyatakan dalam bentuk respon sistem terhadap masukan unit *step* dikarenakan mudah dibangkitkan dan dapat naik dengan cukup drastis. Ketika membandingkan respon sistem dari berbagai sistem, akan digunakannya kondisi awal, yaitu sistem awal dalam keadaan diam, sehingga keluaran pada respon dan semua turunan waktunya akan sama dengan nol. Dengan cara ini maka karakteristik respon sistem dapat dibandingkan dengan mudah (Ogata, 2010).



Gambar 2. 1 Kurva Respon Sistem (Ogata, 2010)

Respon sistem suatu sistem *control* sering menunjukkan osilasi yang teredam (*damped*) sebelum mencapai kondisi *steady state*. Beberapa spesifikasi respon sistem akan dijelaskan sebagai berikut :

1. *Time delay* (t_d) adalah waktu yang diperlukan agar suatu respon mencapai 50% dari harga puncak pada suatu lintasan pertama.

- www.itk.ac.id
2. *Rise Time* (t_r) merupakan waktu yang dibutuhkan suatu respon untuk mencapai 10 hingga 90%, 5 hingga 95% atau 0-100% dari nilai harga akhir sistem redaman kurangnya.
 3. *Peak time* (t_p) merupakan waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai puncak lewatan pertama kali.
 4. *Maximum overshoot* (M_p) adalah nilai puncak maksimum respon sistem yang dihitung dari nilai *steady state*, biasanya dinyatakan dalam bentuk presentase selisih nilai *setpoint* dengan nilai actual puncak.
 5. *Setting time* (t_s) adalah waktu yang dibutuhkan oleh kurva respon sistem untuk mencapai dan menetap pada suatu rentang toleransi dari sebuah nilai *steady state* yaitu antara 2% - 5% dari *setpoint*.
 6. *Error steady state* (E_{ss}) adalah perbedaan kesalahan antara keluaran actual dan keluaran yang diharapkan. Nilai *error steady state* diperoleh dengan persamaan 2.7.

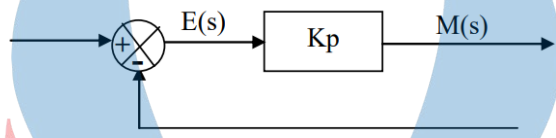
$$E_{ss} = \frac{E_{ss}}{c(t)} \times 100\% \quad (2.7)$$

(Ogata, 2010)

2.6 Kontrol Proporsional (P)

Kontroler *proportional* pada sistem mempunyai sebuah nilai keluaran yang akan sebanding atau *proportional* dengan sebuah besar dari sinyal selisih antara besaran yang diinginkan dengan nilai aktualnya. Secara sederhana dapat dikatakan, bahwa *output* dari kontroler proporsional adalah perkalian antara konstanta proporsional dengan *input*. Perubahan pada sinyal *input* akan menyebabkan sistem secara langsung mengubah *output* sebesar konstanta pengalinya. Kontroler proporsional mempunyai 2 parameter, pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Pita proporsional yang digunakan pada daerah kerja kontroler yang efektif dan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguat sinyal terhadap *error* K_p (Arindya, 2017).

Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa blok diagram menggambarkan hubungan antara besaran *setting*, besaran aktual dengan besaran keluaran pengontrol proporsional. *Error* atau sinyal kesalahan adalah selisih antara besaran *setting* dengan besaran aktualnya. *Error* ini mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga *setting*) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan).



Gambar 2. 2 Diagram Blok Aksi Pengendalian *Proportional* (Wibowo & Novita, 2020)

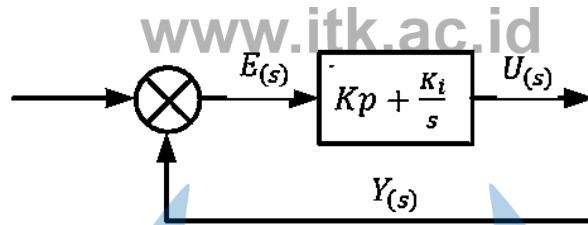
2.7 Kontrol *Proportional Integral* (PI)

Kontrol *proportional integral* (PI) merupakan penggabungan dari dua metode kontrol yaitu kontrol *proportional* dan kontrol *integral*. Keuntungan dengan menggabungkan kontroler *proportional* (K_p) dan *integral* (K_i) yaitu dapat mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset*. Pengontrolan PI dilakukan apabila hasil respon tidak mempunyai *overshoot* yang tergolong pada sistem orde satu. Pada kedua metode kontrol ini masing-masing mempunyai karakteristik pada sistem kerjanya. Karakteristik fungsi dan kegunaan kontrol PI ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 2. 1 Karakteristik Parameter PI

Penguatan	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Steady State Error</i>
K_p	Berkurang	Bertambah	Berkurang
K_i	Berkurang	Bertambah	Hampir Nol

*(Nugroho, 2018)



Gambar 2. 3 Diagram Blok Kendali PI (Nugroho, 2018)

2.8 Proportional Integral Derivative (PID)

Di dalam suatu sistem kendali terdapat beberapa aksi kendali yaitu aksi kendali *propotional*, aksi kendali *integral*, dan aksi kendali *derivative*. Pada masing-masing aksi kendali memiliki keunggulan masing-masing, dimana aksi kendali *propotional* mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kendali *intergral* memiliki keunggulan dapat memperkecil *error*, dan yang terakhir aksi kendali *derivative* memiliki keunggulan dapat meredam *overshoot* atau *undershoot*. Karena itu, agar mendapatkan hasil *output* dengan *rise time* yang cepat dan memiliki *error* yang kecil digabungkan menjadi aksi kendali PID (Ogata, 2010).

Sistem kendali PID memiliki sebuah kelebihan yang mudah dipelajari, dan mudah dalam menentukan nilai parameter dalam merancang kontroler PID dibutuhkan sebuah persamaan matematis plant yang akan dikontrol dan sebuah spesifikasi sistem yang diinginkan kemudian dapat menentukan parameter K_p , K_i , dan K_d (Ogata, 2010).

Karakteristik dari masing-masing parameter sistem kendali PID diperlihatkan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Karakteristik Parameter PID

Penguatan	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady State Error</i>
K_p	Berkurang	Bertambah	Sedikit berubah	Berkurang
K_i	Berkurang	Bertambah	Hilang	Hilang
K_d	Sedikit berubah	Berkurang	Berkurang	Sedikit berubah

*) (Yuan & Liu, 2012)

Karakteristik yang terlihat pada Tabel 2.2 menjelaskan bahwa setiap kekurangan

serta kelebihan pada masing-masing pengendali P, I, D dapat saling menutupi ketika ketiganya digabung menjadi PID. Penjumlahan ketiga kontroler tersebut dapat dimodelkan secara matematis pada persamaan 2.10.

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_D s \right) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (2.8)$$

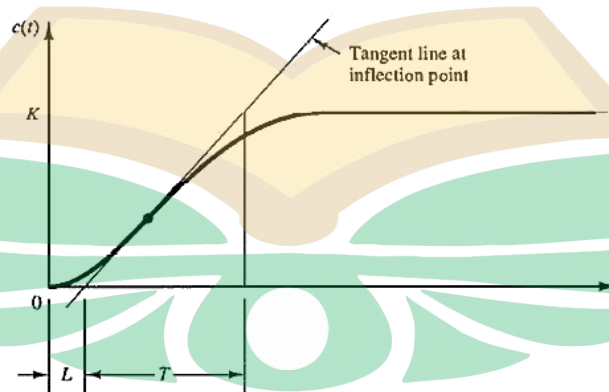
(Ogata, 2010)

Nilai K_p adalah *gain proportional*, T_i merupakan kendali integral dan T_D yaitu kendali *derivative*. Nilai dari K_I merupakan nilai *gain integral* yang didapatkan dengan mengalikan nilai K_p dengan T_i . Nilai K_D yaitu nilai *gain derivative* yang didapatkan dengan mengalikan nilai K_p dengan nilai T_D .

2.9 Metode Tuning Ziegler-Nichols

Pada suatu *tuning* pengendali PID yaitu mencari nilai dari K_p , K_i , dan K_d . Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan *tuning*, salah satunya yaitu menggunakan metode *tuning Ziegler-Nichols*. Metode *Ziegler-Nichols* memiliki 2 metode yakni metode *tuning Ziegler-Nichols 1* dan metode *tuning Ziegler-Nichols 2*.

Pada *Ziegler-Nichols 1* didasarkan secara Respons plant terhadap masukan *unit-step*. Pada *Ziegler-Nichols 1* apabila *plant* tidak memiliki integrator maka akan menghasilkan sebuah kurva Respons masukan seperti kurva huruf S yang terlihat pada Gambar 2.5.(Ogata, 2010).



Gambar 2. 4 Kurva Respons Masukan Berbentuk S (Ogata, 2010)

Kurva Respons *unit-step* ini akan digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T . Parameter-parameter yang akan didapatkan dari kurva Respons masukan bertujuan untuk menentukan sebuah parameter dari pengendali PID berdasarkan ketetapan empiris dari metode *Zieger-Nichlos*. Tabel 2.3 menunjukkan parameter dari PID untuk metode *Zieger-Nichols* 1 (Ogata, 2010).

Tabel 2. 3 Parameter PID Zieger-Nichols 1

Kendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a}$		
PI	$\frac{0.9}{a}$	$3L$	
PID	$\frac{1.2}{a}$	$2L$	$\frac{L}{2}$

(Ogata, 2010)

Pada metode *Zieger-Nichlos* 2, metode ini dilakukan pada reaksi sistem *close-loop*, dimana masukan referensi yang akan digunakan adalah fungsi *step*. Pengendali pada metode ini yang digunakan hanyalah pengendali *propotional*. Nilai K_p dinaikkan dari 0 hingga mencapai nilai kritis K_p , sehingga akan diperoleh *ouiput* yang terus ada. Berikut merupakan tabel parameter pada PID *Ziegler-Nichols* 2.

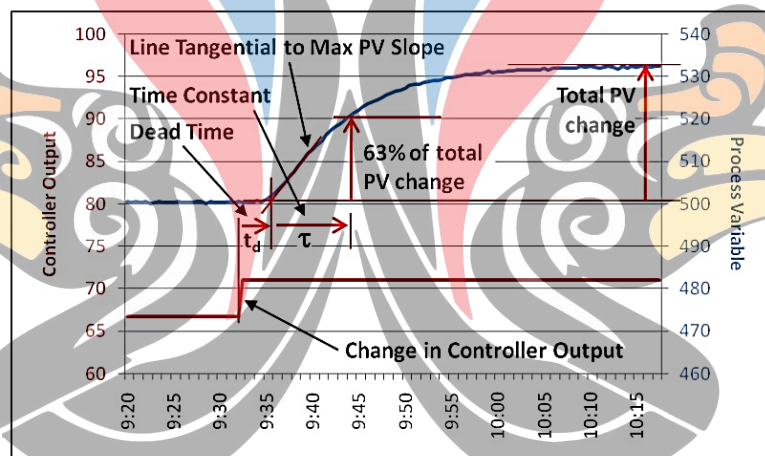
Tabel 2. 4 Parameter PID Zieger-Nichols 2

Kendali	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{K_{cr}}{2}$		
PI	$\frac{2K_{cr}}{5}$	$\frac{4P_{cr}}{5}$	
PID	$\frac{3K_{cr}}{5}$	$\frac{P_{cr}}{2}$	$\frac{3P_{cr}}{25}$

(Ogata, 2010)

2.10 Metode *Tuning Cohen-Coon*

Ada beberapa cara yang digunakan untuk menentukan nilai apa saja yang akan digunakan untuk mendapatkan parameter PID dalam pengontrolan, dan menggunakan metode *Cohen-Coon* adalah salah satu metodenya. Pada metode *Cohen-Coon* dengan melihat respons sistem tanpa kontroler, dapat diketahui perubahan langkah secara manual, dengan menggunakan metode *Cohen-Coon* sebuah respon sistem dimodelkan ke perubahan langkah sebagai respon orde pertama ditambah waktu mati. Dari respon ini didapatkan tiga parameter antara lain yaitu K_c , τ_i , dan τ_d didapatkan. K_c adalah kondisi mapan keluaran dibagi dengan perubahan langkah input, τ adalah konstanta waktu efektif dari respons orde pertama, dan τ_d merupakan waktu mati (Fadzli, 2006). Analisis pada respon dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 5 Penjelasan Perhitungan dengan Metode *Cohen-Coon* (Cohen & Coon, 1953)

Cohen-coon merupakan pengembangan metode penyetelan PID dari metode *Ziegler-Nichols*. Metode *Cohen-Coon* adalah versi yang lebih kompleks dari metode *Ziegler-Nichols*. Metode ini mirip dengan metode *Ziegler Nichols* tetapi perbedaannya bahwa *Cohen-Coon* memberikan waktu naik yang lebih cepat (Faradisa et al., 2014)

Berikut merupakan Tabel 2.5 yang menjelaskan perumusan penalaan parameter PID berdasarkan suatu kurva *Cohen-Coon*

Tabel 2. 5 Parameter PID untuk Cohen-Coon

	<i>Controller Gain</i>	<i>Integral Time</i>	<i>Derivative Time</i>
P Controller	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_d} \left(1 + \frac{\tau_d}{3\tau}\right)$		
PI Controller	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_d} \left(0,9 + \frac{\tau_d}{12\tau}\right)$	$T_i = \tau_d \left(\frac{30 + \frac{3\tau_d}{\tau}}{9 + \frac{20\tau_d}{\tau}}\right)$	
PID Controller	$K_c = \frac{\tau}{K\tau_d} \left(1,33 + \frac{\tau_d}{4\tau}\right)$	$T_i = \tau_d \left(\frac{32 + \frac{6\tau_d}{\tau}}{13 + \frac{28\tau_d}{\tau}}\right)$	$T_d = \tau_d \left(\frac{4}{11 + \frac{2\tau_d}{\tau}}\right)$

(Cohen and Coon, 1953)

2.11 Gambaran Utama Posisi Penelitian

Pada tabel merupakan gambaran utama posisi penelitian dari tugas akhir yang akan digunakan.

Tabel 2. 6 Tabel Gambaran Utama Posisi Penelitian

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Sandro Ade Simanullang 2017	Metode : Sistem PID Pengendali <i>Level</i> Ketinggian Air Hasil : Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa <i>Level</i> air dapat dikendalikan secara otomatisasi dengan menerapkan kendali PID.
2.	Profiyanti H. Suharti 2019	Metode : Aplikasi <i>Tuning</i> Metode <i>Cohen-Coon</i> pada Pengendali pH di Tangki Netralisasi, Unit Pengolahan Limbah

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
		Hasil : Parameter pengendali ini memiliki nilai <i>overshoot</i> yang rendah dan mendapatkan nilai <i>error</i> terkecil.
3	Fahmi Fahroje Pane 2019	<p>Metode : Mengatur <i>Level</i> Tinggi Air dengan Algoritma PID pada <i>Plant Water Treatment</i></p> <p>Hasil : Penggunaan metode PID membuat pengisian air ditangki penampungan saat menuju <i>setpoint</i> menjadi lebih cepat dibandingkan dengan tidak menggunakan metode PID dan pompa mati saat mencapai <i>setpoint</i> yang telah ditentukan dan kinerja sensor dapat mempengaruhi data grafik PID yang diambil.</p>
4	Zulfaniar 2020	<p>Metode : Perbandingan Sistem Kendali Suhu Inkubator Bayi dengan Metode <i>Ziegler-Nichols</i> dan Metode <i>Tuning Cohen-Coon</i></p> <p>Hasil : Pada metode ini disimpulkan bahwa sistem <i>incubator</i> bayi metode <i>tuning Cohen-Coon</i> memiliki <i>error</i> yang kecil kurang dari 1% dibandingkan dengan metode <i>Ziegler-Nichols</i> pada <i>setpoint</i> yang dapat menstabilkan suhu di dalam <i>incubator</i> bayi dengan keunggulan Respons bergerak lebih cepat mencapai <i>setpoint</i>.</p>
5	Sayuuda Faradisa 2020	<p>Metode : Perancangan Kontroler PI dengan Metode <i>Tuning Cohen-Coon</i> untuk Kendali Suhu pada Inkubator Bayi.</p> <p>Hasil : Respons sistem yang dihasilkan menggunakan kontroler PI dengan metode <i>tuning Cohen-Coon</i> memiliki</p>

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
		keunggulan Respons yang bergerak lebih cepat untuk mencapai <i>setpoint</i> .
6	Mutiara Akbar Hermayanti 2020	Metode : Perancangan dan Analisis Pengendalian <i>Level</i> Ketinggian Air Pada Tangki <i>Water Treatment Plant</i> Menggunakan <i>PID Controller</i> dengan Metode <i>Tuning Cohen-Coon</i> Hasil :

