

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka berisi tentang dasar teori dari penelitian yang akan dilakukan pada tugas akhir ini.

2.1 *Water Treatment Plant (WTP)*

Water Treatment Plant adalah suatu tempat proses pengolahan air untuk mendapatkan air yang dihasilkan sehingga memenuhi syarat sesuai kriteria yang digunakan untuk menyediakan kebutuhan air untuk pembangkitan tenaga dan pengolahan. Proses *Water Treatment Plant* dibagi menjadi dua yaitu *external water treatment* berfungsi untuk menghilangkan padatan – padatan tersuspensi contohnya tanah, pasir, dan lumpur dengan cara diendapkan dan disaring. Selanjutnya, *internal water treatment* berfungsi untuk melakukan proses perbuatan air didalam tangki dengan penambahan kimia dengan tujuan untuk mencegah pembentukan kerak dan mencegah korosi (Utara et al., 2020).

2.2 *Pemodelan Matematis Water Treatment Plant (WTP)*

Water Treatment Plant (WTP) merupakan suatu proses yang sangat penting dalam pengolahan air di tangki yang digunakan untuk menyediakan kebutuhan air. Hal tersebut membuat ketinggian di dalam tangki *Water Treatment Plant (WTP)* harus dijaga agar tidak menimbulkan air didalam tangki menjadi meluap atau kosong (Pane et al., 2019). Model matematis dari *level* tangki *Water Treatment Plant (WTP)* dapat diturunkan dengan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan massa sesuai dengan persamaan 2.1 dan persamaan 2.2

$$[\text{Jumlah}] = [\text{Debit yang masuk}] - [\text{Debit yang}] \quad 2.1$$
$$[\text{debit}] = [\text{kedalam tangki}] - [\text{keluar dari tangki}]$$

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

Hubungan antara debit air dan ketinggian air digunakan pada persamaan 2.3.

$$Q = Av = A \frac{dh}{dt} \quad 2.3$$

$$R = \frac{\text{Ketinggian air}}{\text{Debit air yang keluar}} \quad 2.4$$

Pemodelan matematis tangki *Water Treatment Plant* dengan menggunakan fungsi alih pada persamaan 2.5.

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RAs} \quad 2.5$$

Nilai Q_{in} adalah laju aliran yang masuk, Q_{out} adalah laju aliran yang keluar, A adalah luas alas tangki *Water Treatment Plant*, v adalah kecepatan aliran dan R adalah hambatan aliran (Ogata, 2010).

2.3 Pemodelan Matematis Level Transmitter

Level transmitter berfungsi untuk mengukur hasil nilai *level* air dari proses industri yang terdapat pada tangki *Water Treatment Plant* (WTP) serta mengubah nilai perubahan *level* pada zat cair. Fungsi alih dari *level transmitter* didapatkan sesuai dengan persamaan 2.6.

$$MV_{FT}(s) = \frac{K_{LT}}{\tau_{LT}s + 1} \quad 2.6$$

$$K_{LT}(s) = \frac{\text{perubahan arus kontrol}}{\text{perubahan flow transmitter}} \quad 2.7$$

Nilai K_{LT} adalah gain *level transmitter*, dan τ_{LT} adalah *time constant* dari *level transmitter* (Finawan, 2017).

2.4 Pemodelan Matematis Control Valve

Control valve merupakan *valve* yang dapat digerakkan secara otomatis dengan mengatur laju aliran sesuai dengan yang diinginkan. *Control valve* berupa katup atau kran yang berfungsi untuk pengatur sebuah laju aliran cairan yang

melewatinya. *Control valve* mempunyai masukan sinyal arus listrik sebesar 4-20 mA dari *controller* yang diubah menjadi tekanan melalui I/P *transducer* (Yudho et al., 2013).

Pemodelan matematis *control valve* dengan menggunakan fungsi alih dengan persamaan 2.8.

$$Mv(s) = \frac{G_v}{\tau_v s + 1} \quad 2.8$$

Untuk mengetahui gain total *control valve* (G_v), maka digunakan persamaan 2.9.

$$G_v(s) = K_{actuator} \times K_{I/p} \quad 2.9$$

Gain *actuator* digunakan pada persamaan 2.10.

$$K_{actuator}(s) = \frac{\text{laju aliran}}{\text{perubahan tekanan}} \quad 2.10$$

Gain I/P *transducer* digunakan pada persamaan 2.11.

$$K_{I/P}(s) = \frac{\text{perubahan tekanan}}{\text{perubahan arus kontrol}} \quad 2.11$$

Untuk menentukan *time constant control valve* maka digunakan persamaan 2.12.

$$\tau_v s = T_v (\Delta V + R_v) \quad 2.12$$

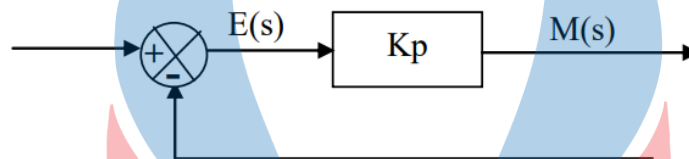
Fraksi perubahan *control valve* pada persamaan 2.13.

$$\Delta V(s) = \frac{\text{laju aliran}_{maksimum} - \text{laju aliran}_{minimum}}{\text{laju aliran}_{maksimum}} \quad 2.13$$

Dimana, $Mv(s)$ adalah *measurement variable control valve*, G_v adalah gain total kontrol *valve*, $\tau_v s$ adalah *time constant* dari kontrol *valve*, T_v adalah waktu *stroke* penuh (10s), R_v adalah perbandingan *time constant inherent* dengan *time stroke* (0,03 untuk jenis aktuatur *diaphragma*; 0,3 untuk jenis aktuatur piston) (Sulastri et al., 2020).

2.5 Aksi Pengendalian *Proportional* (P)

Aksi pengendalian *proportional* pada sistem kontrol mempunyai *output* yang sebanding atau dapat disederhanakan bahwa *output* pengendalian *proportional* yaitu perkalian antara konstanta *proportional* dengan *input* sehingga, perubahan pada sinyal *input* dapat menyebabkan sistem secara langsung mengeluarkan *output* sinyal sebesar dengan konstanta pengalinya (Wibowo & Novita, 2020).

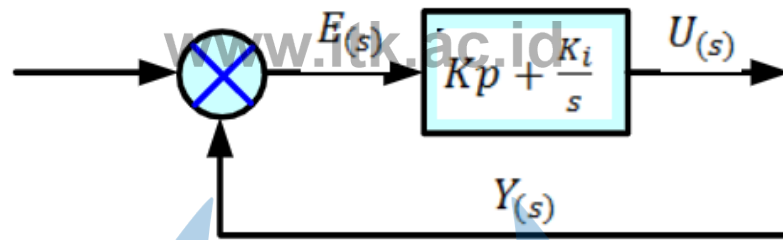


Gambar 2.1 Diagram Blok Aksi Pengendalian *Proportional* (Wibowo & Novita, 2020)

Berdasarkan Gambar 2.1 diatas, menunjukkan bahwa hubungan dari besaran *setting*, besaran aktual, dan besaran *output* pengendalian *proportional* yang dimana, sinyal kesalahan (*error*) yaitu selisih dari besaran *setting* dengan besaran aktualnya sehingga, selisih tersebut akan menyebabkan pengendalian *proportional*, untuk mendapatkan sinyal berbentuk positif dapat mempercepat tercapainya besaran *setting* sedangkan untuk mendapatkan berbentuk negatif dapat memperlambat tercapainya besaran *setting* (Wibowo & Novita, 2020).

2.6 Aksi Pengendalian *Proportional Integral* (PI)

Aksi pengendalian *proportional integral* yang terdiri atas penggabungan dua buah metode kontrol yaitu kontrol *proportional* dan kontrol *integral*. Pada Tabel 2.1 karakteristik parameter PID dapat diimplementasikan secara terpisah maupun gabungan, pada aksi *proportional output* sistem kontrol akan berbanding lurus dengan masukan dan *error* dan akan menghasilkan tanggapan yang cepat dengan diikuti *overshoot* yang tinggi sehingga akan menghasilkan respon sistem yang cukup besar sedangkan untuk pengendalian *integral*, *output* sistem akan berubah dengan cepat sesuai dengan perubahan *error* pada sistem (Nugroho, 2018)



Gambar 2.2 Diagram Blok Kendali PI (Nugroho, 2018)

Persamaan model matematis dan diagram blok sistem kendali PI pada Gambar 2.2 dari kontrol PID pada persamaan 2.14.

$$G(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] = K_p + \frac{K_i}{s} \quad 2.14$$

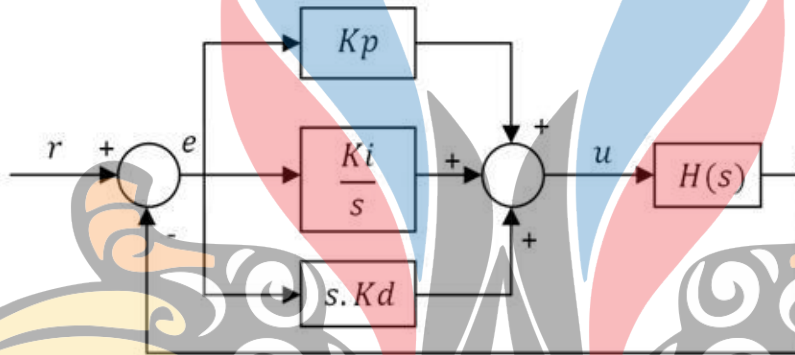
Dimana, K_p adalah *gain proportional* dan K_i adalah *gain integral* (Nugroho, 2018).

2.7 Aksi Pengendalian *Proportional Integral Derivative* (PID)

Suatu sistem kontrol pasti mengetahui adanya beberapa macam aksi pengendalian kontrol yaitu aksi pengendalian kontrol *proporsional* memiliki keunggulan *rise time* yang cepat, aksi pengendalian kontrol *integral* memiliki keunggulan memperkecil *error*, dan aksi pengendalian kontrol *derivative* memiliki keunggulan meredam *overshoot*. Untuk mendapatkan hasil *output* dengan *rise time* yang cepat dan *error* yang kecil, maka dapat digabungkan ketiga aksi pengendalian kontrol ini menjadi aksi pengendalian kontrol PID. Parameter pengontrol *Proporsional Integral Derivative* (PID) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur sistem. Sehingga, bagaimanapun rumitnya suatu sistem maka, sistem tersebut harus diketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan (Yudho et al., 2013).

Tabel 2.1 Karakteristik Parameter PID (Ali, 2004)

Penguatan	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Setting Time</i>	<i>Error Steady State</i>
K_p	Menurun	Meningkat	Perubahan kecil	Menurun
K_i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Perubahan kecil	Menurun	Menurun	Perubahan kecil



Gambar 2.3 Blok Diagram Kendali PID (Finawan, 2017)

Persamaan model matematis dan struktur paralel sistem kendali PID pada Gambar 2.3 dari kontrol PID pada persamaan 2.15.

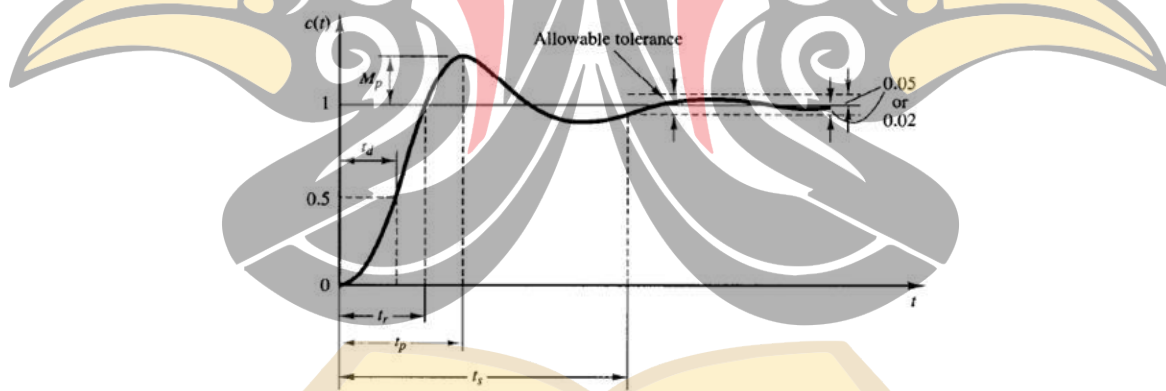
$$G(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad 2.15$$

Dimana, Nilai K_p adalah *gain proportional*, T_i adalah kendali integral dan T_d adalah kendali *derivative*. Nilai dari K_i merupakan nilai dari *gain integral* yang didapatkan dengan mengalikan nilai K_p dengan T_i . Nilai K_d merupakan nilai *gain derivative* yang didapatkan dengan mengalikan nilai K_p dengan T_d (Ogata, 2010).

2.8 Tanggapan Sistem

Tanggapan sistem disebut juga dengan respon sistem adalah perubahan dari sifat keluaran yang diakibatkan perubahan sinyal masukan. Hasil dari tanggapan sistem biasanya dapat membentuk kurva dengan mencapai kondisi yang *steady state* yang didapatkan setelah sistem tersebut diberikan sinyal masukan. Parameter tanggapan sistem yang biasa digunakan untuk mengukur dari sistem pengendalian ini yaitu *rise time* (t_r) untuk mengukur waktu dengan mengetahui dari tanggapan sistem yang biasa diukur dari tanggapan sistem 5% sampai 95%, *peak time* (t_p) untuk mengukur waktu yang dibutuhkan dari tanggapan sistem untuk memperoleh nilai yang maksimum, *percent overshoot* (M_p) digunakan untuk mencari nilai *percent* dari kurva keluaran tanggapan sistem yang telah melewati nilai *steady state* pada saat kurva tanggapan sistem telah mencapai nilai maksimum, dan *settling time* (t_s) untuk mencari waktu yang diperlukan dari tanggapan sistem menuju nilai akhir 90% dari nilai akhir tanggapan sistem 10% (Sihombing, 2012).

Parameter respon sistem dapat ditunjukkan sesuai dengan Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Spesifikasi Respon Sistem (Ogata, 2010)

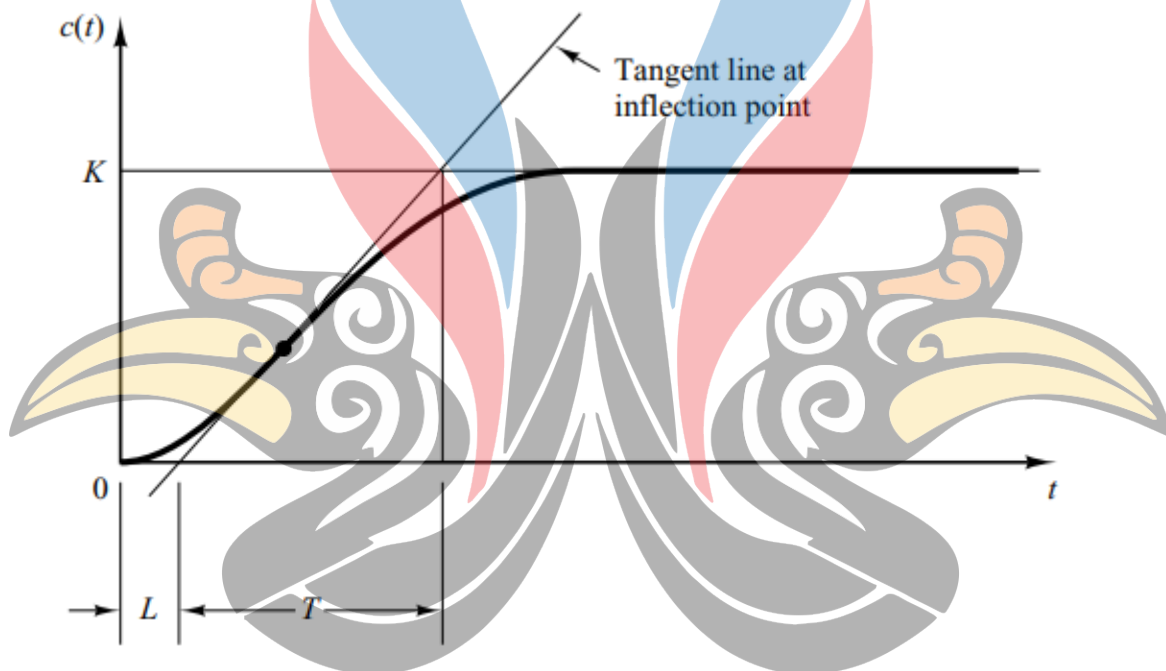
2.9 Metode Tuning PID Ziegler Nichols

Pada proses pengendalian PID didapatkan hasil untuk mencari nilai *gain proportional* (K_p), *gain integral* (K_i), *gain derivative* (K_D). Salah satu metode yang sering digunakan untuk melakukan proses pengendalian PID yaitu metode *Ziegler Nichols*. Metode tersebut dapat dibedakan menjadi dua yaitu respon sistem untuk *loop* terbuka dan respon sistem untuk *loop* tertutup (Wijaya et al., 2020). Penjelasan

lebih spesifik mengenai respon sistem lup terbuka dan tertutup sebagai berikut pada sub bab 2.9.1 dan 2.9.2. www.itk.ac.id

2.9.1 Metode Pertama Ziegler Nichols

Metode ini diawali dengan reaksi sistem pada keadaan *loop* terbuka. Dari respon sistem *loop* terbuka ini didapatkan kurva tersebut berbentuk s dengan memiliki 2 konstanta yaitu L (tepat waktu) dan T (waktu tunda) dengan hasil bahwa kurva reaksi sistem *loop* terbuka berubah menjadi naik pada saat L (tepat waktu) sedangkan pada saat T (waktu tunda) perubahan kurva mencapai keadaan yang baik (Wijaya et al., 2020).



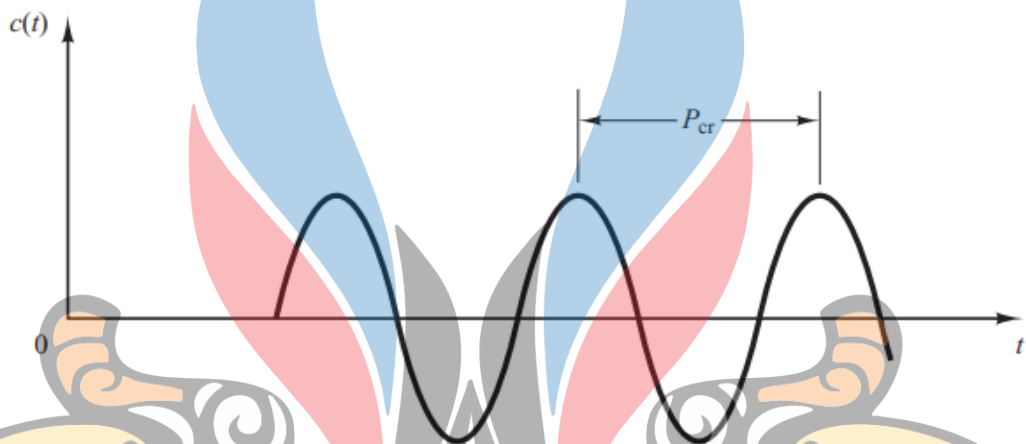
Gambar 2.5 Kurva Reaksi Sistem Berbentuk s (Ogata, 2010)

Tabel 2.2 Tabel Metode Ziegler Nichols pada Loop Terbuka (Wijaya et al., 2020)

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	-
PI	$0,9T/L$	$L/0,3$	-
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

2.9.2 Metode Kedua Ziegler Nichols

Metode ini dilakukan dengan proses sistem *loop* tertutup dengan masukan sebagai acuan yang digunakan pada fungsi *step*. Metode ini menggunakan pengendalian *proportional* (K_p) yang nilainya dinaikkan menjadi 0 hingga nilai kritis (K_p). Nilai kritis K_p disebut juga dengan *ultimated gain*. Sehingga, didapatkan hasil *output* yang berosilasi secara terus menerus dengan nilai *amplitude* sama dan juga sistem dikatakan stabil apabila nilai $K_p = K_{cr}$ (Wijaya et al., 2020).



Gambar 2.6 Kurva Reaksi Sistem Berbentuk *Sustained Oscillation* (Ogata, 2010)

Tabel 2.3 Metode *Ziegler Nichols* Pada *Loop* Tertutup (Wijaya et al., 2020)

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$K_{cr}/2$	∞	-
PI	$2K_{cr}/5$	$4P_{cr}/5$	-
PID	$3K_{cr}/5$	$P_{cr}/2$	$3P_{cr}/25$

2.10 Metode *Root Locus*

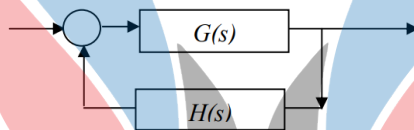
Metode *Root Locus* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan nilai akar-akar karakteristik yang sederhana. Metode ini dikembangkan oleh W.R. Evans (Ogata, 2010). Metode *Root Locus* (tempat kedudukan akar) merupakan suatu metode dengan menggambarkan akar-akar persamaan karakteristik untuk semua nilai dari suatu parameter sistem. Nilai akar-akar karakteristik di plot untuk

semua nilai dari parameter sistem (Azis, 2017). Metode *Root Locus* yaitu gambaran dari kedudukan akar-akar persamaan karakteristik dari sistem *Open Loop Transfer Function* (OLTF) yang dimana parameternya digunakan untuk variabel dan nilai *pole* dan *zero* yang terdapat pada OLTF (Suhariningsih, 2006).

Persamaan model matematis dari sistem *Close Loop Transfer Function* (CLTF) pada persamaan 2.16.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad 2.16$$

Dimana, $G(s)$ adalah fungsi alih sistem (Suhariningsih, 2006).



Gambar 2.7 Diagram Blok Sistem *Loop* Tertutup (Suhariningsih, 2006)

2.11 Gambaran Utama Penelitian Sebelumnya

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

Tabel 2.4 Gambaran Utama Posisi Penelitian (Penulis, 2021)

No	Nama, Tahun Publikasi	Hasil
1.	(Satriya et al., 2013)	Metode: Pengontrolan ketinggian air pada tangki <i>Water Treatment Plant</i> menggunakan metode penalaan PI <i>Ziegler Nichols</i> . Hasil: Pada hasil penelitian ini, menghasilkan respon sistem dengan <i>maximum overshoot</i> yang belum baik karena hanya menggunakan tuning PI <i>Ziegler Nichols</i> .

-
2. (Nurhaimi et al., 2020) Metode : Pengendalian *level* air pada tangki *Water Treatment Plant* menggunakan metode kontrol PID *Ziegler Nichols*.

Hasil: Pada hasil penelitian ini, menggunakan PID memiliki respon sistem dengan *maximum overshoot*, *rise time* yang baik.

-
3. (Lakshmanan et al., 2020) Metode : Proses kestabilan *spherical tank* dengan tuning PI kontroler menggunakan metode *Root Locus*.

Hasil : Pada hasil penelitian ini, metode *Root Locus* melakukan kestabilan dalam proses sistem *spherical tank* menggunakan tuning PI kontroler, didapatkan hasil bahwa pada proses sistem tersebut stabil dengan metode *Root Locus* karena metode tersebut dapat menunjukkan parameter kontroler yang tepat dan mudah diimplementasikan dari metode lainnya.

-
4. (Deva Ayuk Kurniawati, 2021)
-

