

# DESAIN KONTROLER PID MENGGUNAKAN PLC CP1E-NA UNTUK MENGATUR TEKANAN FLUIDA PADA *PLANT* FILTRASI MENGGUNAKAN MODUL *ULTRAFILTRATION*

Hafidz Aly Hidayat<sup>\*)</sup>, Aris Triwiyatno, and Budi Setiyono

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang  
Jalan Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

\*)Email : hafidz.aly019@gmail.com

## Abstrak

Pada penggunaan modul Ultrafiltration, tekanan fluida yang digunakan tidak boleh lebih dari tekanan operasi modul. Ketika modul bekerja, tekanan operasi akan semakin meningkat dan membran akan mengalami penurunan fluks karena terjadi *fouling*. *Fouling* merupakan masalah utama pada membran dimana partikel-partikel tertahan dan menutupi permukaan membran, *fouling* ini semakin lama semakin meningkat dan membuat kerja membran menjadi semakin berat. Penelitian ini dilakukan untuk membuat tekanan fluida yang masuk modul *Ultrafiltration* stabil sesuai dengan *set value* yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan untuk menjaga tekanan agar sesuai dengan tekanan operasi modul *Ultrafiltration*, karena ada faktor penghambatan membran modul oleh partikel tertentu (*fouling*) yang mampu membuat tekanan naik tanpa disadari. Metode kontrol yang digunakan adalah metode kontrol PID. Kontrol PID dilakukan menggunakan PLC CP1E-NA dengan memanfaatkan instruksi PIDAT(191). *Pressure Transmitter* (PT) merupakan sensor yang menjadi input bagi PLC, *inverter* dan motor pompa merupakan aktuator yang mendapatkan *output* dari PLC. Sebelum data dari PT masuk ke kontrol PID, data harus diskala terlebih dahulu dari 4-20 mA menjadi 0-7000 desimal. Setelah kontrol PID bekerja dan mendapatkan *output*, nilai *output* kontrol harus diskala agar tegangan *output* kontrol stabil sehingga frekuensi di *inverter* juga stabil. Penelitian ini menggunakan metode kontrol PID *Ziegler-Nichols* 1. Pengujian pada *plant* filtrasi menggunakan nilai parameter PID hasil *tuning Ziegler-Nichols* 1 menghasilkan nilai parameter PID terbaik yaitu  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$  dimana dari hasil pengujian pada *set value* 400 mbar berhasil stabil saat detik ke-15, pada *set value* 600 mbar berhasil stabil saat detik ke-22, dan pada *set value* 800 mbar berhasil stabil saat detik ke-8.

*Kata kunci* : *Plant filtrasi, tekanan, kontrol PID*

## Abstract

On the use of Ultrafiltration module, the fluid pressure should not be more than the module's operating pressure. When the module is working, the operating pressure is increasing and membrane's flux is decreasing due to fouling. Fouling is a major problem in the membrane where the particles are retained and cover the surface of the membrane, fouling is progressively increasing and makes the membrane becomes more severe. This research was done to make the incoming fluid pressure to Ultrafiltration module is stable in accordance with a predetermined set value. This is done to maintain the pressure to conform to the operating pressure Ultrafiltration modules, because there are factors inhibiting the membrane module by certain particles (fouling) were able to make the pressure rise unnoticed. Control method used is PID control method. PID control is done using the PLC CP1E-NA by utilizing instruction PIDAT (191). Pressure Transmitter (PT) is a sensor which serve as inputs for the PLC, inverter and the motor pump is an actuator that getting output from the PLC. Before the data from PT entrance to PID control, data must first be scaled from 4-20 mA into 0-7000 decimal. After the PID control work and get the output, the output value must be scaled so the output control voltage is stable so that the frequency inverter is also stable. This research uses a PID control method of *Ziegler-Nichols* 1. Tests on filtration plant used PID parameter values result of *Ziegler-Nichols* 1 tuning and produced the best PID parameter values that is  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , and  $T_d=0$  where the test results at set value 400 mbar is done with settling time 8s, at set value 600 mbar is done with settling time 22s, and at set value 800 mbar is done with settling time 15s.

*Keywords* : *Plant filtration, pressure, PID*

## 1. Pendahuluan

Pada penggunaan modul *Ultrafiltration*, tekanan air yang digunakan tidak boleh lebih dari tekanan operasi. Ketika

modul bekerja, tekanan operasi akan semakin meningkat atau membran akan mengalami penurunan fluks karena terjadi *fouling* [1]. *Fouling* merupakan masalah utama pada membran dimana partikel-partikel tertahan dan

menutupi permukaan membran. *Fouling* ini samaTin lama samaTin meningkat dan membuat kerja membran menjadi samaTin berat [2]. Agar membran tidak bekerja dengan berat atau agar tekanan operasi tidak melonjak maka diperlukan kontroler tekanan. Kontroler ini akan menjaga tekanan operasi stabil sesuai dengan *set value* (SV) yang ditentukan. Ketika ada partikel yang tertahan di membran dan tekanan operasi meningkat, putaran motor pompa akan diturunkan agar tekanan operasi tetap stabil. PLC merupakan komponen yang mampu melakukan kontrol pada hal yang kompleks dan berbagai sensor atau aktuator dapat diatur melalui input output analog PLC [3]. Kontroler yang digunakan adalah kontrol *proporsional, integral, dan derivative* (PID) menggunakan PLC OMRON CP1E-NA.

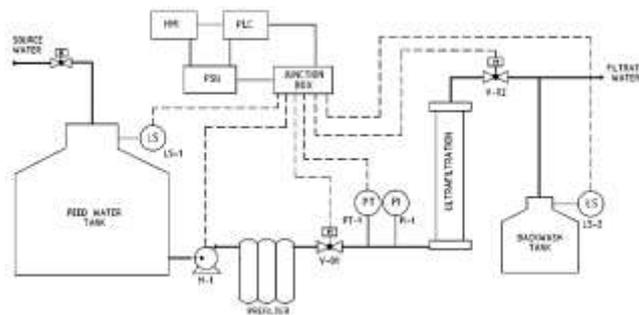
Motor pompa susah dikontrol karena karakteristik yang nonlinear oleh karena itu kontroler yang paling sesuai adalah kontrol PID [4]. Kontrol PID merupakan kontrol close loop yang secara luas dipakai pada sistem kontrol industri dimana kontrol ini memperbaikiTi eror antara variabel proses yang terukur [5].

Kontrol PID akan mendapat *input* tekanan dari *pressure transmitter*, *output* kontrol adalah *inverter* yang terhubung dengan motor pompa. Inverter akan mendapatkan sinyal tegangan dari PLC yang kemudian akan dikonversi *inverter* menjadi frekuensi yang bisa digunakan untuk mengatur putaran motor.

## 2. Metode

### 2.1. P&ID Plant Untuk Kontrol PID

Proses yang digunakan untuk kontrol PID hanya pada proses filtrasi karena PT digunakan pada proses filtrasi untuk mengatur tekanan air yang masuk ke modul UF. Gambar 1 adalah P&ID proses filtrasi.

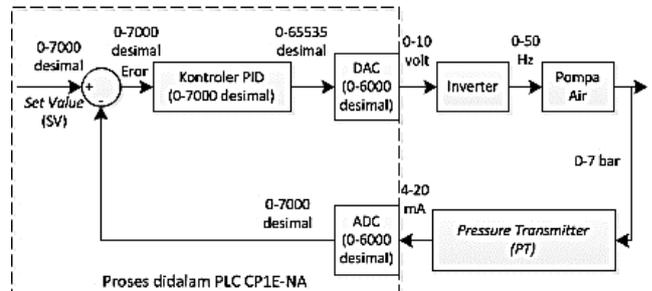


Gambar 1. P&ID proses filtrasi

Dari Gambar 1, proses filtrasi dimulai dari pompa yang mengirim air dari tank menuju modul UF, sebelum modul UF terdapat PT sebagai sensor tekanan dan PI sebagai indikator tekanan. Tekanan PT akan diTirim ke PLC untuk dikontrol sesuai dengan *set value* yang ditentukan.

Tekanan PI sebagai acuan tekanan PT agar tidak terjadi perbedaan tekanan.

### 2.2 Perancangan Perangkat Lunak

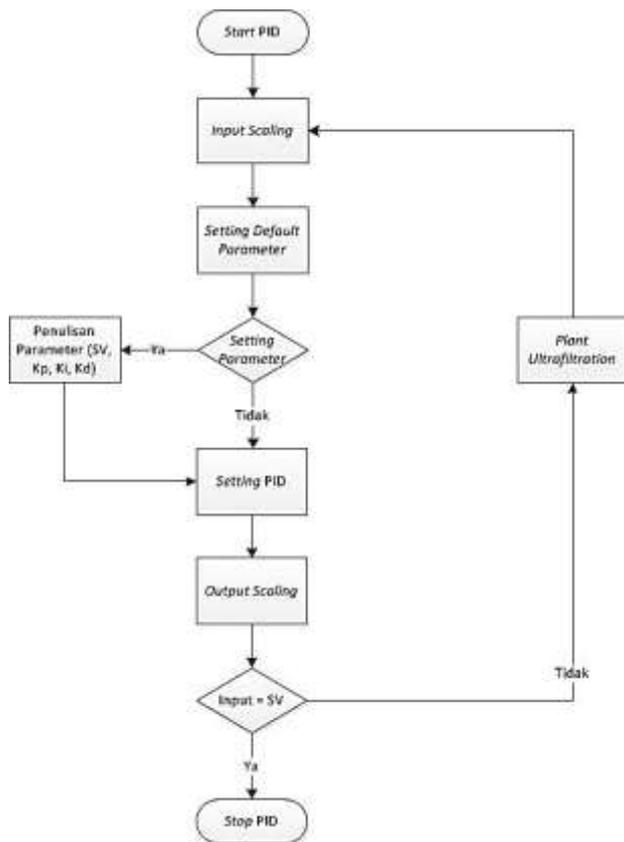


Gambar 2. Diagram blok sistem kontrol PID plant

*Set value* (SV) adalah nilai keluaran yang Tita harapkan dari *plant* filtrasi dan memilikiTi skala pengukuran 0-7000 desimal. Pengaturan SV bisa dilakukan melalui HMI. Eror adalah selisih antara nilai SV dengan nilai *input* yang berasal dari *Analog to Digital Converter* (ADC). Kontroler PID berfungsi untuk membuat eror samaTin kecil dengan memberikan keluaran kontroler berupa nilai yang akan digunakan oleh aktuator. Sebelum DAC terdapat output scaling yang menskala dari 0-65535 desimal menjadi 0-6000 desimal agar bisa dibaca DAC. *Digital to Analog Converter* (DAC) berfungsi untuk mengubah nilai 0-6000 desimal dari PLC menjadi nilai tegangan (0-10 volt) yang bisa dibaca oleh *inverter*. Aktuator pada *plant* ini adalah motor pompa yang diberi pengkondisi sinyal berupa *inverter* sehingga keluaran tegangan dari PLC dapat dikonversi ke dalam bentuk frekuensi yang bisa digunakan untuk mengatur motor pompa. Pompa air ini akan membuat aliran air samaTin kuat atau samaTin lemah sesuai dengan masukan frekuensi dari *inverter*. Kuat lemahnya aliran air ini akan mempengaruhi tekanan air dan memberikan nilai pada *pressure transmitter* yang berupa tekanan (0-7 bar). *Analog to Digital Converter* (ADC) berfungsi untuk mengubah nilai 4-20 mA arus dari *pressure transmitter* menjadi bentuk 0-6000 desimal, kemudian 0-6000 desimal diskala menjadi 0-7000 desimal. Perancangan perangkat lunak pada kontroler PID pada PLC CP1E-NA menggunakan *ladder diagram*. Sebelum membuat *ladder diagram*, algoritma proses harus dirancang agar mudah dalam membuat diagram alir dan mudah dalam memahami isi proses kontrol PID.

Gambar 3 adalah diagram alir pembuatan *ladder diagram* kontrol PID. Proses kontrol PID dimulai dengan menekan tombol *start PID* pada HMI. *Input Scaling* digunakan untuk membuat skala *input* kontrol PID (0-7000 desimal). Kemudian kontrol PID akan berjalan dengan nilai *default* parameter PID dimana nilai parameter tersebut adalah nilai kontrol PID terbaik dari *plant* filtrasi. Parameter PID

dapat diubah di HMI, parameter yang bisa diubah adalah *Set value*(SV), *Proporsional Band* (PB), *Integral time* (Ti), dan *Derivative time* (Td). *Setting* PID adalah tempat pengaturan parameter PID yang digunakan untuk kontrol PID. *Output Scaling* digunakan untuk membuat skala *output* kontrol PID (0-6000 desimal). Jika *input* sama dengan *Set value*(SV) maka *plant* sudah stabil, namun jika *input* tidak sama dengan SV maka *plant* belum stabil (masih ada eror) yang kemudian dikembalikan ke *input scaling* untuk dikontrol lagi agar *input* sama dengan SV.



Gambar 3. Diagram alir pembuatan ladder kontrol PID

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1 Pengujian Pressure transmitter (PT)

Tekanan PT perhitungan adalah menggunakan nilai output arus PT dan nilai minimum arus yang dihasilkan PT. Melalui pengukuran, nilai minimal arus PT adalah 3,85 mA. Nilai Pressure Indicator (PI) didapatkan dengan mengamati secara langsung pada plant.

Tekanan PT perhitungan didapatkan dari mengubah nilai output PT dari 4-20 mA menjadi nilai tekanan PT 0-7000 milibar yang ditampilkan di HMI. Ketika PT mengeluarkan arus ke PLC, ADC akan mengubah nilai arus menjadi desimal dalam skala 0-6000 desimal, kemudian nilai ADC tersebut diskala menjadi 0-7000 desimal agar sesuai dengan skala PT (0-7 bar).

Tabel 1. Perbandingan tekanan PI, dan tekanan PT Perhitungan, dan tekanan PT di HMI

Tekanan PI (bar)	Tekanan PT Perhitungan (bar)	Tekanan PT di HMI (milibar)
0,2	0,2275	210
0,4	0,415625	417
0,6	0,6475	616
0,8	0,853125	812
1	1,04125	1015

N : Nilai pembulatan dari PT Count

Tekanan PT perhitungan jika dilakukan pembulatan maka hasilnya adalah sama. Tekanan PT perhitungan yang hampir beda adalah pada tekanan 0,6 bar dimana hasil perhitungan adalah 0,65 bar. Nilai PT di HMI dan nilai PI adalah hampir sama. Perbedaan nilai tekanan PT perhitungan dikarenakan tidak stabilnya nilai arus keluaran PT saat pengukuran. Selain itu, PT memiliki akurasi 0.5% dari skala maksimum PT sehingga perbedaan tekanan yang bisa terjadi adalah 0,035 bar.

#### 3.2 Pengujian Inverter

Pada pengujian *inverter*, yang diukur adalah nilai analog *output* dari PLC (0-10 volt), dan nilai frekuensi *inverter*. Pada pengujian ini akan dilakukan perhitungan nilai analog *output* PLC kemudian diubah ke nilai frekuensi di *inverter*, hasil frekuensi perhitungan akan dibandingkan dengan nilai frekuensi pengukuran.

Tabel 2. Perbandingan nilai frekuensi perhitungan dengan nilai frekuensi pengukuran.

Analog Output (V)	Frekuensi Perhitungan (Hz)	Frekuensi Pengukuran (Hz)	Selisih
3,82	19,1	18,6	0,5
5,45	27,25	27	0,25
6,69	33,45	33	0,45
8	40	39,5	0,5
9,4	47	46,6	0,4

Dari tabel diatas, perbedaan terbesar adalah 0,5 Hz yang terjadi pada saat analog output bernilai 3,82 volt dan 8 volt. Perbedaan terkecil adalah 0,25 yang terjadi pada saat analog output bernilai 5,4 volt. Perbedaan pengukuran ini dikarenakan kontrol PID yang bekerja dengan input tekanan yang berubah-ubah sehingga output analog tidak stabil. Dengan eror dari frekuensi terbesar adalah 0,5 Hz, maka nilai frekuensi perhitungan dan nilai frekuensi pengukuran adalah sama.

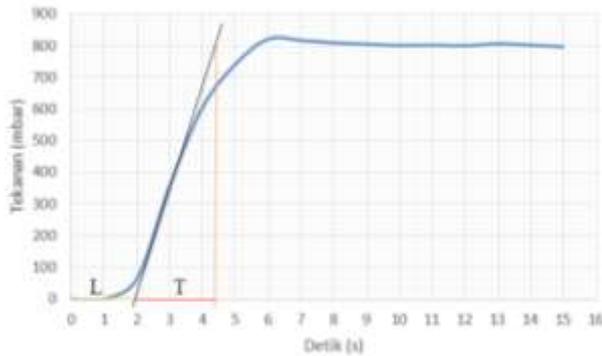
#### 3.3 Pengujian Kontrol PID

Pada pengujian kontrol PID, terdapat 3 variasi *set value* yang akan diuji menggunakan metode *Ziegler-Nichols* 1. Variasi *set value* yang akan diuji adalah 400 mbar, 600 mbar, dan 800 mbar. Pemilihan ketiga *set value* ini bertujuan agar pembacaan di PI dapat terlihat sehingga

dapat dibandingkan dengan nilai PT yang ditampilkan di HMI.

Tahap pertama Metode Ziegler-Nichols 1 adalah mencari grafik dari *plant* dengan memberikan sinyal *step* pada *plant*. Dalam pengujian ini, memberikan frekuensi ke *inverter* hingga tekanan menjadi 800 mbar dimana didapatkan frekuensi *inverter* saat 800 mbar adalah 39,4 Hz. Kemudian frekuensi ini dijadikan *input step* dengan memasukkan frekuensi 39,4 Hz ke *inverter* secara langsung.

Tahap kedua adalah mendapatkan grafik respon dari *input step* yang dilakukan. Grafik respon didapatkan dari data tekanan *Pressure Transmitter* (PT) yang ditransmisikan tiap detik ke HMI. Gambar 4.1 adalah grafik respon *input step* pada *plant* filtrasi. Kemudian dibuat garis singgung seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Respon dari *input step* *plant* filtrasi

Tahap ketiga adalah menentukan nilai waktu tunda (L) dan nilai waktu konstan (T). Dari Gambar 4 diketahui nilai L adalah 2 detik dan nilai T adalah 2,3 detik.

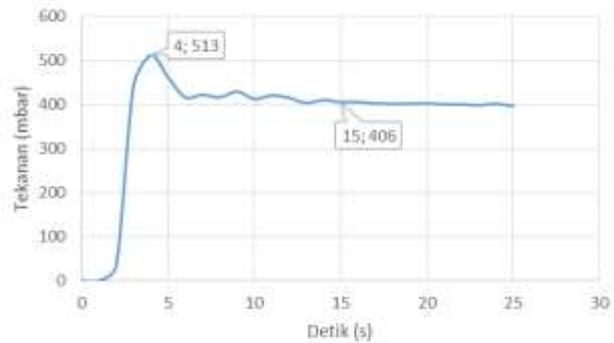
Tahap keempat adalah memasukkan nilai L dan T kedalam Tabel 3. yaitu tabel *Gain* formula pada metode Ziegler-Nichols 1 untuk *plant* filtrasi.

Tabel 3. *Gain* formula untuk *plant* filtrasi.

Tipe Kontrol	Kp	Ti	Td
P	1,1	~	0
PI	1,0	6,7	0
PID	1,4	4	1

### 3.3.1 Pengujian Saat *Set value* 400 mbar

Hasil pengujian terbaik untuk set value 400 mbar adalah menggunakan tipe kontrol PI dengan memasukkan nilai  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$ . Gambar 5. adalah pengujian  $SV=400$  mbar dengan tipe kontrol PI.

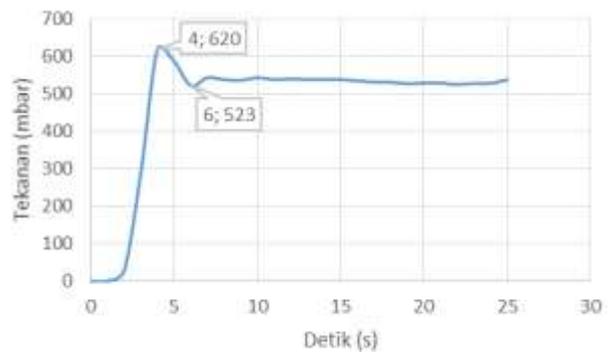


Gambar 5. Pengujian  $SV=400$  mbar dengan  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$ .

Waktu penetapan yang digunakan adalah 2% sehingga eror yang ditoleransi adalah  $\pm 8$  mbar ( $2\% \times 400 \text{ mbar}$ ). Dari Gambar 5. diketahui *overshoot* hingga nilai 513 mbar dan respon stabil saat detik ke-15 dengan nilai 406 mbar. Nilai 406 mbar masih didalam nilai toleransi eror dimana nilai toleransi eror maksimum adalah 408 mbar ( $400+8$ ) dan nilai toleransi eror minimum adalah 392 mbar ( $400-8$ ).

### 3.3.2 Pengujian Saat *Set value* 600 mbar

Hasil pengujian terbaik untuk set value 600 mbar adalah menggunakan tipe kontrol PI dengan memasukkan nilai  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$ . Gambar 6. adalah pengujian  $SV=400$  mbar dengan tipe kontrol PI.



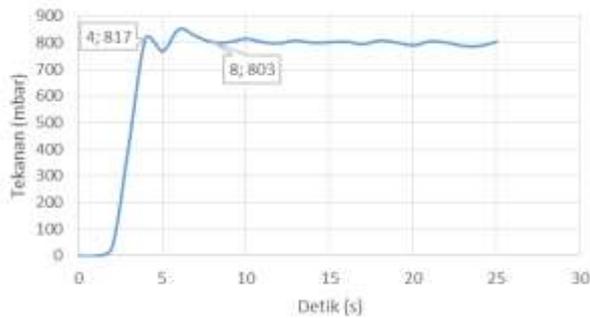
Gambar 6. Pengujian  $SV=600$  mbar dengan  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$

Waktu penetapan yang digunakan adalah 2% sehingga eror yang ditoleransi adalah  $\pm 12$  mbar ( $2\% \times 600 \text{ mbar}$ ). Dari Gambar 6. diketahui tidak ada *overshoot*, respon teredam dan respon stabil saat detik ke-22 dengan nilai 591 mbar. Nilai 591 mbar masih didalam nilai toleransi eror dimana nilai toleransi eror maksimum adalah 612 mbar ( $600+12$ ) dan nilai toleransi eror minimum adalah 588 mbar ( $600-12$ ).

### 3.3.3 Pengujian Saat *Set value* 800 mbar

Hasil pengujian terbaik untuk set value 800 mbar adalah menggunakan tipe kontrol PI dengan memasukkan nilai

$K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$ . Gambar 7. adalah pengujian  $SV=400$  mbar dengan tipe kontrol PI.



Gambar 7. Pengujian  $SV=800$  mbar dengan  $K_p=50$ ,  $T_i=20$ , dan  $T_d=0$

Waktu penetapan yang digunakan adalah 2% sehingga eror yang ditoleransi adalah  $\pm 16$  mbar ( $2\% \times 800$  mbar). Dari Gambar 7. diketahui *overshoot* hingga nilai 817 mbar dan respon stabil saat detik ke-8 pada nilai 803 mbar. Nilai 803 mbar masih didalam nilai toleransi eror dimana nilai toleransi eror maksimum adalah 816 mbar ( $800+16$ ) dan nilai toleransi eror minimum adalah 784 mbar ( $800-16$ ).

### 3.4 Penentuan Set Default Parameter PID

Setting default parameter PID didapatkan melalui pengujian tipe kontrol PID yang didapat dari *tuning Ziegler-Nichols 1* terhadap *set value* tertentu. Setelah dilakukan pengujian dapat diketahui nilai parameter PID yang paling baik dari tipe kontrol tersebut. Berikut adalah hasil pengujian parameter PID paling baik terhadap *set value* yang sudah ditentukan :

Tabel 4. Hasil pengujian parameter PID yang paling baik

Set value (mbar)	Error Steady State	Waktu Stabil	Osilasi	Nilai Parameter PID
400	Tidak ada	15 s	Tidak ada	$K_p=1, T_i=6.7, T_d=0$
600	Tidak ada	22 s	Tidak ada	$K_p=1, T_i=6.7, T_d=0$
800	Tidak ada	8 s	Tidak ada	$K_p=1, T_i=6.7, T_d=0$

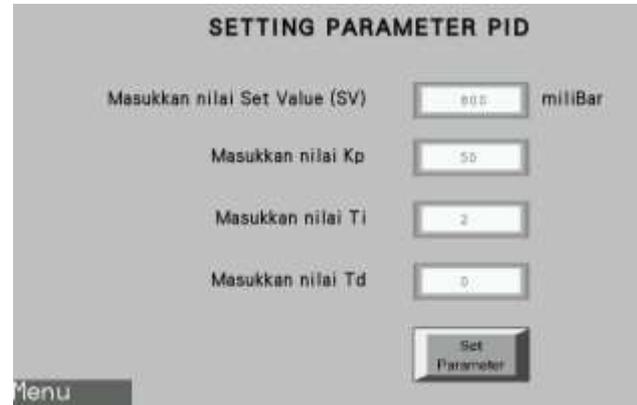
Dari Tabel 4., nilai parameter PID yang sesuai dengan *plant* filtrasi adalah  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$ . Dengan parameter PID tersebut, pengaturan tekanan tidak terjadi osilasi, tidak terjadi *error stedy state*, dan waktu stabil cenderung cepat.

### 3.5 Pengujian HMI

Pengujian HMI antara lain adalah menguji penulisan parameter PID yang ditulis di HMI ( $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ ) kemudian disimpan di PLC dalam bentuk parameter  $PB$ ,  $Ti$ , dan  $Td$ . Pengujian selanjutnya adalah menguji data dari PLC dalam bentuk parameter  $PB$ ,  $Ti$ , dan  $Td$  dan ditampilkan di HMI dalam bentuk  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ .

### 3.5.1 Pengujian Penulisan Parameter PID

Dalam pengujian ini, digunakan salah satu parameter PID yaitu  $K_p=50$ ,  $T_i=2$ , dan  $T_d=0$ . Gambar 8. adalah tampilan *setting* parameter PID.



Gambar 8. Setting parameter  $K_p=50$ ,  $T_i=2$ , dan  $T_d=0$

Setelah melakukan penulisan parameter dan menekan tombol *Set Parameter*, maka data  $K_{pHMI}$ ,  $T_{iHMI}$ , dan  $T_{dHMI}$  akan diTirim ke PLC.

Penulisan nilai  $K_{pHMI}$  disimpan pada nilai  $PB_{PLC}$  di PLC, dan penulisan nilai  $T_{iHMI}$  disimpan pada nilai  $Ti_{PLC}$  di PLC. Berikut adalah perhitungan  $K_{pHMI}$  ke  $PB_{PLC}$  dan  $T_{iHMI}$  ke  $Ti_{PLC}$  sesuai dengan Perasaman 1 dan Persamaan 2 :

$$PB_{PLC} = \frac{100}{K_{pHMI}} \times 10 \quad (1)$$

$$PB_{PLC} = \frac{100}{50} \times 10$$

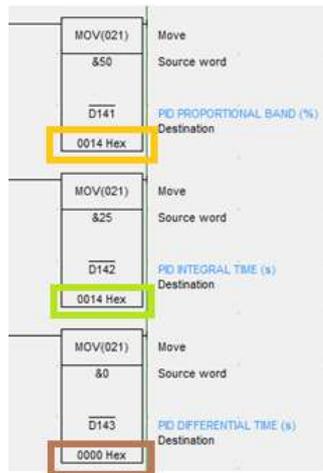
$$PB_{PLC} = 20$$

$$Ti_{PLC} = T_{iHMI} \times 10 \quad (2)$$

$$Ti_{PLC} = 2 \times 10$$

$$Ti_{PLC} = 20$$

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan ladder di PLC, didapatkan Gambar 9. yaitu data yang terTirim ke PLC.



Gambar 9. Data PLC saat  $K_p=50$ ,  $T_i=2$ , dan  $T_d=0$

Dari Gambar 9. diketahui bahwa *input* dari HMI sudah masuk ke PLC ditunjukkan dengan nilai *Proporsional Band* yaitu 0014 hex (20 desimal) sesuai dengan perhitungan, dan nilai *Integral Time* yaitu 0014 hex (20 desimal) sesuai dengan perhitungan.

### 3.5.2 Pengujian Tampilan Parameter PID di HMI

Digunakan salah satu parameter PID yaitu  $K_p=50$ ,  $T_i=2$ , dan  $T_d=0$ . Nilai parameter tersebut telah diTirim ke PLC. Pengujian yang dilakukan adalah data  $PB_{PLC}$ ,  $Ti_{PLC}$  dan  $Td_{PLC}$  dari PLC diTirim ke HMI dalam bentuk  $Kp_{HMI}$ ,  $Ti_{HMI}$ , dan  $Td_{HMI}$  sebagai hasil tampilan di HMI. Data  $PB_{PLC}$ ,  $Ti_{PLC}$  dan  $Td_{PLC}$  dari PLC terdapat pada Gambar 9.

Dari Gambar 9. diketahui nilai  $PB_{PLC}$  adalah 20 desimal dan nilai  $Ti_{PLC}$  adalah 20 desimal. Berikut adalah perhitungan nilai  $PB_{PLC}$  ke nilai  $Kp_{HMI}$ , dan nilai  $Ti_{PLC}$  ke nilai  $Ti_{HMI}$  sesuai dengan Persamaan 3 dan Persamaan 4 :

$$K_{P_{HMI}} = \frac{1000}{PB_{PLC}} \quad (3)$$

$$K_{P_{HMI}} = \frac{1000}{20}$$

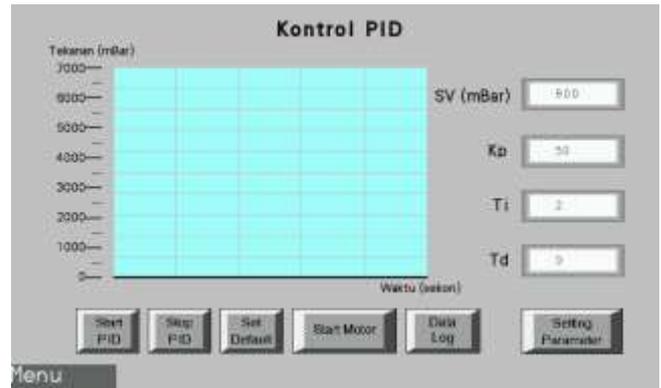
$$K_{P_{HMI}} = 50$$

$$T_{i_{HMI}} = T_{i_{PLC}} \div 10 \quad (4)$$

$$T_{i_{HMI}} = 20 \div 10$$

$$T_{i_{HMI}} = 2$$

Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa nilai  $Kp_{HMI}$  yang ditampilkan di HMI adalah 50 desimal dan nilai  $Ti_{HMI}$  yang ditampilkan di HMI adalah 2 desimal sesuai dengan nilai  $Kp$  dan  $Ti$  yang terdapat pada Gambar 10.



Gambar 10. Nilai  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$  pada *screen* kontrol PID

## 4. Kesimpulan

Dari ketiga pengujian saat *set value* 400 mbar, 600 mbar, dan 800 mbar didapatkan respon terbaik pada tipe kontrol PI dengan  $K_p=1$ ,  $T_i=6,7$ , dan  $T_d=0$  dimana hasil pengujian tanpa *error steady state*, dan tanpa osilasi Pada pengujian saat *set value* 400 mbar didapatkan waktu penetapan pada detik ke-15. Pada pengujian saat *set value* 600 mbar didapatkan waktu penetapan pada detik ke-22. Pada pengujian saat *set value* 800 mbar didapatkan waktu penetapan pada detik ke-8.

## Referensi

- [1] Chen, Y., Dong, B.Z., Gao, N.Y., Fan, J.C., *Effect of coagulation pretreatment on fouling af an ultrafiltration membrane*, Desalination 204, hal. 181-188, 2007.
- [2] Ayse, A., Soektae, K., Elimelech, M., Mayes, A.M., *Anti-fouling ultrafiltration membranes containing polyacrylonitrile-graft-poly (ethylene oxide) comb copolymer additives*, Journal of Membrane Science 298, hal. 25-34, 2007.
- [3] J. Paulusová, "Design of PID controller for PLC", *Slovak Scientific Grant Agency VEGA, Grant no. 1/1105/12*, 2012.
- [4] H. M. Imran, "Comparison of Control System Using PLC & PID" dalam ASEE 2014 Zone I Conference, University of Bridgeport, Bridgeport, CT, USA, April, 2014.
- [5] A.P. Kaldate, "PLC Based PID Speed Control System", IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), vol. 04, Issue 03, Mar. 2014.