

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

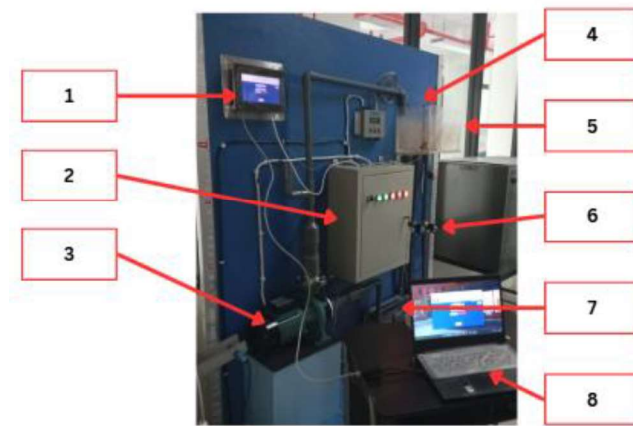
Untuk mengetahui hasil dari alat yang telah dirancang dan agar memastikan hasil tersebut sesuai dengan rumusan yang pada bab sebelumnya telah ditentukan. Pada bab ini, akan menjawab dan membahas hal-hal tersebut.

4.1 *Standard Operational Procedure (SOP)*

Dalam pengoperasian alat, terdapat SOP atau *Standard Operational Procedure* yang memiliki tujuan agar ketika alat digunakan, tidak terjadi kesalahpahaman dalam penggunaan alat, kerusakan pada alat, atau bahkan kecelakaan saat pengoperasian alat. Berikut adalah prosedur penggunaan alat :

4.1.1 **Bagian-bagian Alat**

Untuk mengetahui cara pengoperasian alat, perlu diketahui bagian pada pada alat secara keseluruhan. Dengan tujuan mengetahui letak tombol dan komponen pada alat.

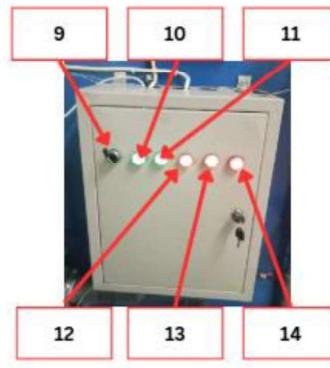


Gambar 4. 1 Komponen pada Alat Kendali *Water Level*

Pada **Gambar 4.1** adalah bagian pada alat, berikut adalah penjelasan selengkapnya.

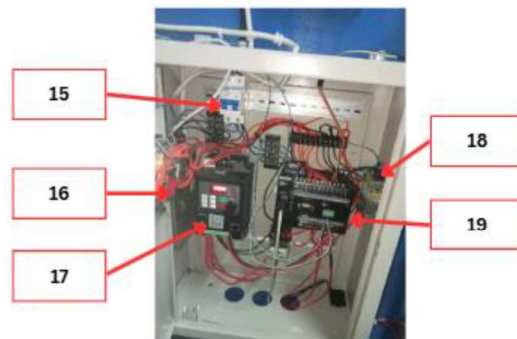
1. HMI (Human Machine Interface) Weintek MT8071iP untuk system antarmuka dan pengontrol alat dari solenoid valve, metode *on-off* maupun PID.
2. *Panel Box* berisikan PLC, Inverter, dan komponen kelistrikan lainnya.
3. Motor Pompa Air Morris MFM128A sebagai pompa yang menarik dan mendorong air dari *sump tank* ke *overhead tank*.

4. Sensor Ultrasonik Analog US-016 sebagai pendeteksi ketinggian air.
5. *Overhead tank* sebagai tangki air yang diukur ketinggian.
6. *Solenoid valve* sebagai katup yang membuka dan menutup arah air dari *overhead tank* ke *sump tank*.
7. *Sump tank* untuk penampungan air yang akan disedot pompa dan dari katup solenoida.
8. PC untuk sistem antarmuka alat selain HMI.



Gambar 4. 2 Tombol pada panel box

9. Tombol di *panel box* pada **Gambar 4.2** terdiri dari selektor alat untuk mengaktifkan semua kompone yang terhubung pada *pushbutton* di *panel box*.
10. *Pushbutton* hijau 1, untuk menyalakan mode kendali *on-off*.
11. *Pushbutton* hijau 2, untuk menyalakan mode kendali PID
12. *Pushbutton* merah 1, untuk menyalakan *solenoid valve* 1.
13. *Pushbutton* merah 2, untuk menyalakan *solenoid valve* 2.
14. *Pushbutton* merah 3, untuk menyalakan *solenoid valve* 3.



Gambar 4. 3 Isi *Panel Box*

15. Isi dari *panel box* di **Gambar 4.3** antara lain MCB, yang berfungsi sebagai pengaman komponen.
16. Catu Daya 24 V, untuk memberikan daya ke komponen.
17. VFD Nflixin 9600 Series, untuk mengatur kecepatan motor AC.
18. Catu Daya 5 V, untuk memberikan daya ke komponen.
19. PLC Omron CP1E-NA20DR-A dengan modul komunikasi CP1W-CIF11, sebagai kontroler utama sistem.

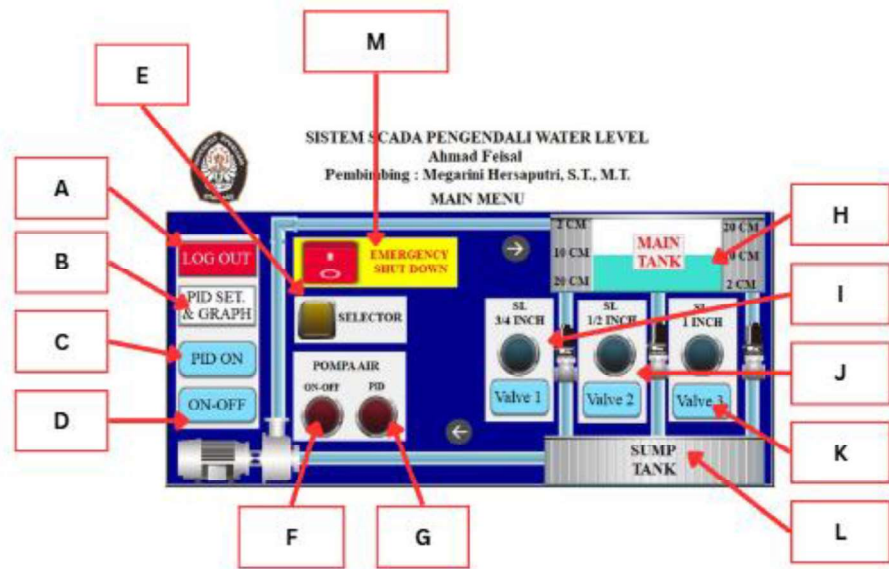
4.1.2 Pengoperasian Alat

Berikut adalah langkah-langkah untuk mengoperasikan alat pengendali *water level*.

1. Pastikan alat terhubung dengan catu daya 220 V dengan benar.
2. Nyalakan MCB pada *panel box* di alat (Lihat **Gambar 4.3**), kemudian pastikan semua *pushbutton* menyala, dan HMI akan mengeluarkan suara “BEEP” ketika dinyalakan, serta tunggu HMI *booting*.
3. Setelah semuanya aktif, maka dapat dihubungkan untuk konektor RJ45/Ethernet ke PC/laptop anda. (Bila laptop anda tidak memiliki port RJ45, dapat memasang dongle USB to RJ45).
4. Pada PC/laptop anda, dapat buka aplikasi EasyBuilder Pro dan memilih file remote HMI anda serta lakukan “*online simulation*”.
5. Setelah itu, putar *selector* pada panel ke kiri dan cek lampu indikator *selector* pada HMI dan PC anda, pastikan lampunya menyala.
6. Lakukan *login* pada HMI atau PC tergantung posisi atau peran (*manager*, *operator*, dan *engineer*).
7. Pada sistem ini, memiliki 2 jenis pengaturan *level* air berdasarkan metodenya, *On-Off* (posisi *pushbutton* hijau kiri) dan PID (posisi *pushbutton* hijau kanan), untuk sistem PID baru dapat bekerja optimal ketika *solenoid valve* dibuka setidaknya salah satu dari ketiganya (*pushbutton* merah).

Gambar 4. 4 Tampilan Awal HMI

8. Dapat juga dilakukan pengoperasian dan monitoring alat menggunakan HMI dan PC. Pada **Gambar 4.4** dapat dilihat penjelasan lebih lengkap sebagai berikut :
 - A. USER NAME, adalah posisi yang akan menentukan fitur yang dapat diakses
 - B. PASSWORD, untuk memasukkan kode keamanan agar bisa membuka kunci dari fitur yang diinginkan, sesuai dengan USER NAME yang dimasukkan.
 - C. LOGIN, untuk konfirmasi dari USER NAME dan PASSWORD setelah dimasukkan kode dan USER NAME nya.
 - D. COMMAND RESULT, memberikan indikator apabila PASSWORD dan USER NAME yang diminta sudah benar. (Bila muncul angka 1 artinya benar, selain dari itu USER NAME atau PASSWORD yang dimasukkan salah).
 - E. LOGOUT, untuk keluar dari akun atau posisi yang dimasukkan ke USER NAME.
 - F. NEXT, untuk mengakses halaman selanjutnya.
9. Sesuai dengan *username* dan *password* yang anda masukkan sebelumnya, laman akan secara otomatis ke MAIN MENU seperti pada **Gambar 4.5**. Untuk dapat mengakses fitur tertentu, anda dapat *logout* dan masukkan *username* dan *password*.

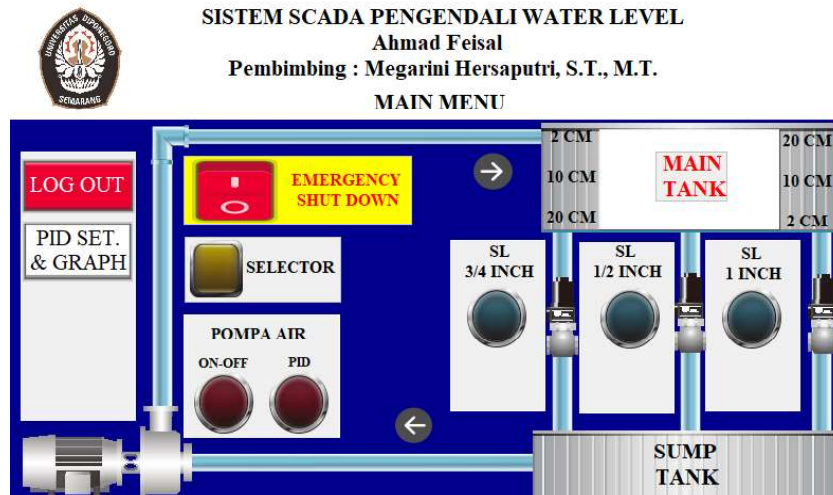


Gambar 4. 5 Main Menu HMI

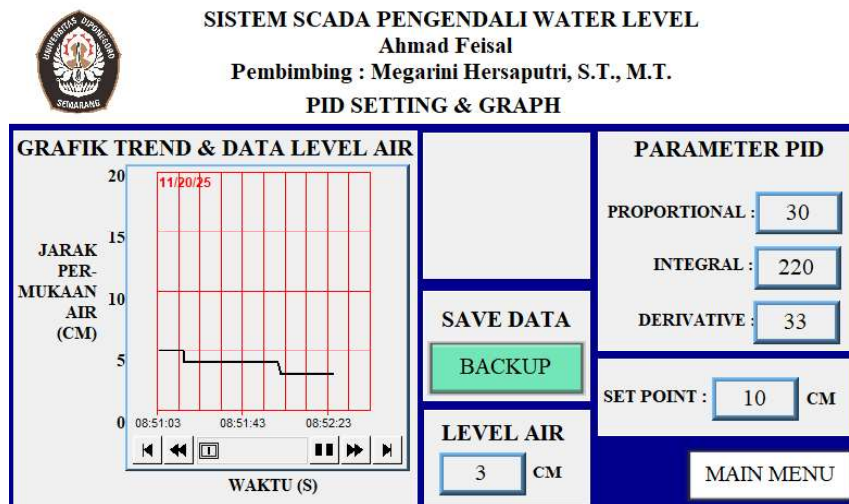
10. Berikut adalah tampilan MAIN MENU pada **Gambar 4.5** dengan penjelasannya:

- A. LOG OUT, untuk keluar dari MAIN MENU dan secara otomatis keluar dari akun posisi *Manager*, *Operator*, dan *Engineer*.
- B. PID SET. & GRAPH, untuk ke laman selanjutnya yang berisi pengaturan parameter PID, grafik, dan *save data*.
- C. PID ON, untuk menyalakan mode PID pada alat.
- D. ON-OFF, untuk menyalakan mode *on-off* pada alat.
- E. Lampu indikator SELECTOR, untuk memastikan bahwa selector telah diputar.
- F. Lampu indikator ON-OFF, sebagai indikator mode *on-off* telah menyala.
- G. Lampu indikator PID, sebagai indikator mode PID telah menyala.
- H. MAIN TANK, sebagai tanki utama yang diukur dan dikendalikan ketinggiannya.
- I. S1, untuk menyala/matikan katup solenoida 1 berukuran $\frac{3}{4}$ " dengan lampu indikator untuk menandakan nyala/matinya.
- J. S2, untuk menyala/matikan katup solenoida 2 berukuran $\frac{1}{2}$ " dengan lampu indikator untuk menandakan nyala/matinya.
- K. S3, untuk menyala/matikan katup solenoida 3 berukuran 1" dengan lampu indikator untuk menandakan nyala/matinya.

- L. SUMP TANK, sebagai tanki bawah.
- M. EMERGENCY SHUT DOWN, untuk menonaktifkan semua aktivitas pada alat ketika kondisi darurat.



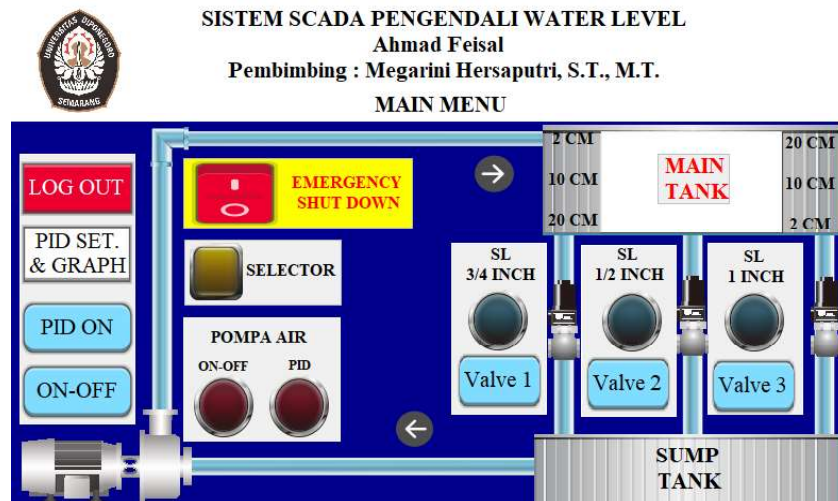
(a)



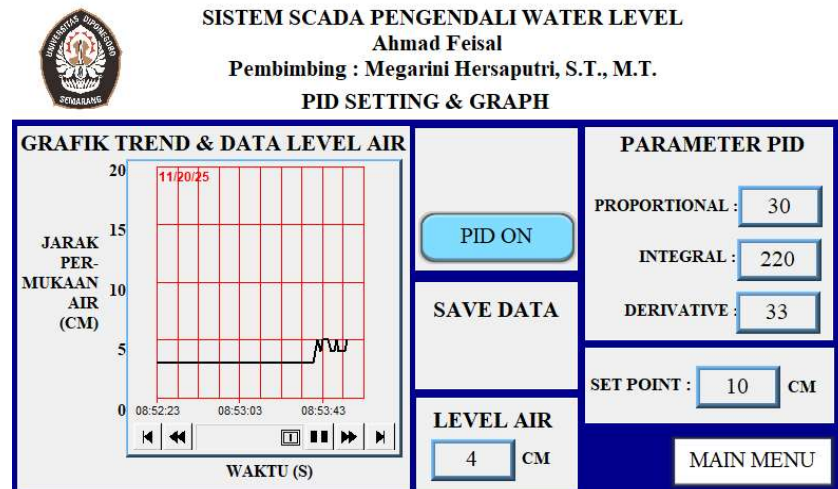
(b)

Gambar 4. 6 Tampilan HMI untuk Peran *Manager*; (a) Main Menu, (b) PID Setting & Graph

11. Sebagai *Manager*, dapat mengakses data, grafik, dan memonitoring alat melalui HMI maupun PC. Namun tidak dapat mengoperasikan alat. Pada **Gambar 4.6** adalah tampilan HMI untuk peran *Manager*.



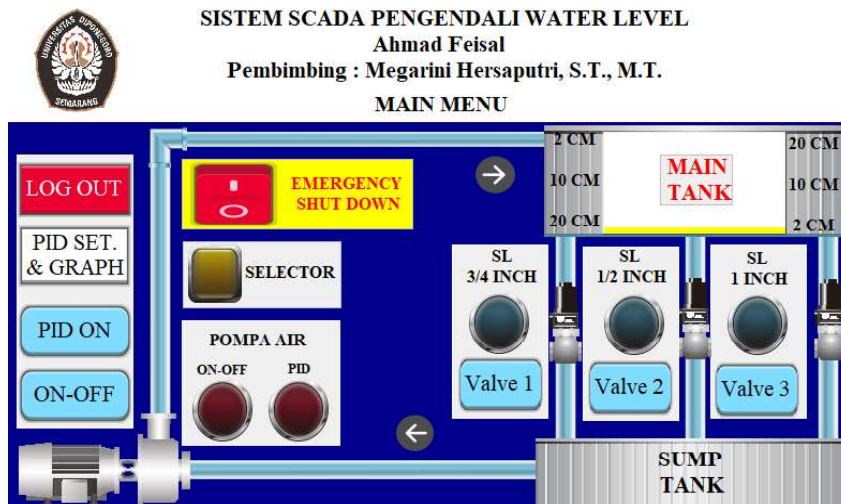
(a)



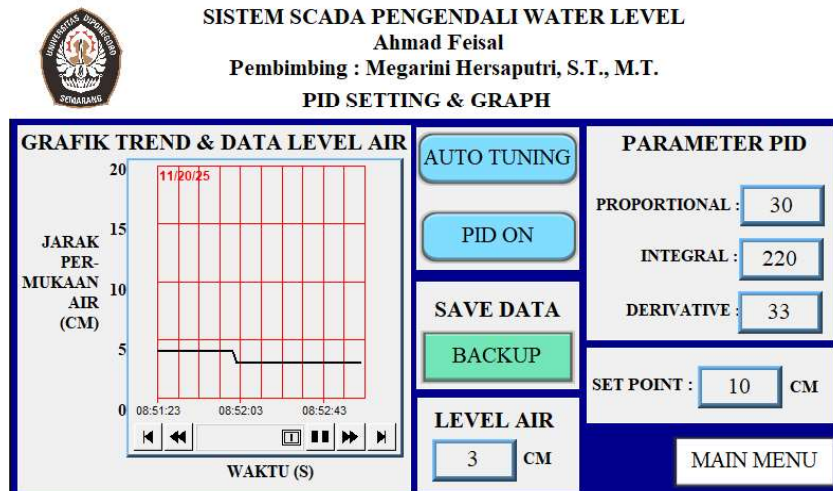
(b)

Gambar 4. 7 Tampilan HMI untuk Peran *Operator*, (a) Main Menu, (b) PID Setting & Graph

12. Sebagai *Operator*, dapat melakukan pengoperasian alat yang mendasar. Seperti pengaktifan *solenoid valve* dan penentuan metode kendali *level* air. Namun tidak dapat mengakses data, grafik, ataupun memonitoring alat. Di **Gambar 4.7** adalah tampilan HMI untuk peran *Operator*.



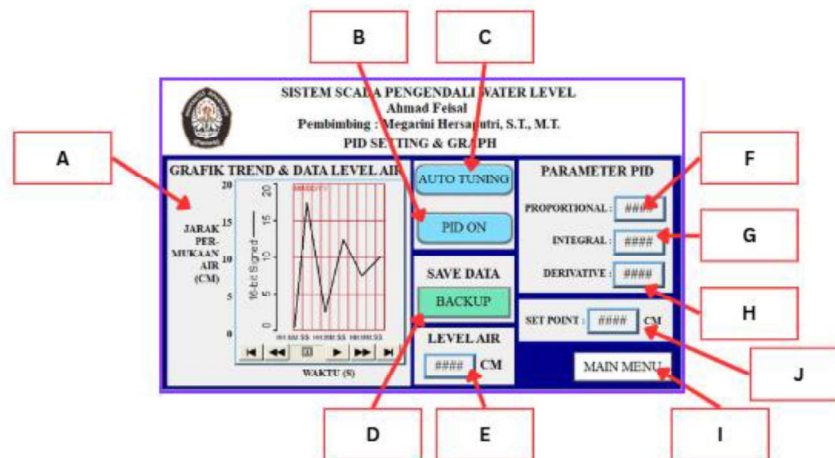
(a)



(b)

Gambar 4. 8 Tampilan HMI untuk Peran *Engineer*, (a) Main Menu, (b) PID Setting & Graph

13. Sebagai *Engineer*, dapat memonitoring alat, akusisi data dan visualisasi grafik dan juga dapat melakukan pengoperasian alat tingkat lebih lanjut, selain menentukan metode kendali *level* air dan buka tutup *solenoid valve*, juga dapat input parameter PID untuk kontrol metode PID nya. Pada **Gambar 4.8** adalah tampilan HMI untuk peran *Engineer*.



Gambar 4. 9 Laman ke-3

14. Untuk laman ke 3 yang berisi Parameter PID (Untuk *Engineer*, *Manager* hanya dapat melihat) dan grafik serta *save data*, seperti pada **Gambar 4.9**.

- A. GRAFIK TREND & DATA LEVEL AIR, untuk menampilkan grafik trend jarak permukaan air ke sensor ultrasonik.
- B. PID ON, untuk menyalakan mode PID pada alat.
- C. AUTO TUNING, untuk memulai fitur *auto tuning* dari parameter PID (untuk *Engineer*).
- D. BACKUP/SAVE DATA, untuk menyimpan data dari alat.
- E. LEVEL AIR, untuk menunjukkan ketinggian air secara real time.
- F. PROPORTIONAL, untuk menunjukkan dan mengisi (untuk *Engineer*) parameter proporsional.
- G. INTEGRAL, untuk menunjukkan dan mengisi (untuk *Engineer*) parameter integral.
- H. DEREVATIVE, untuk menunjukkan dan mengisi (untuk *Engineer*) parameter derevatif.
- I. MAIN MENU, untuk kembali ke menu utama.
- J. SET POINT, untuk menentukan *set point* yang diinginkan.

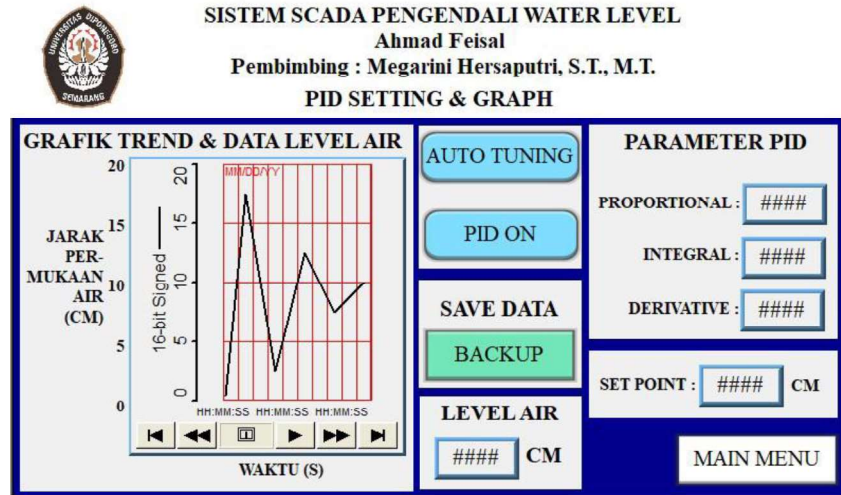
4.1.3 Mengatur Parameter PID melalui HMI

Berikut adalah cara mengatur parameter PID (Proportional, Integral, Derevative) pada alat melalui HMI.

1. Pertama, anda harus LOGIN sebagai *Engineer*. Sebelumnya pastikan anda

sudah LOG OUT dari akun sebelumnya. Lalu masukkan USERNAME sebagai *Engineer* dan juga PASSWORD nya, lalu LOGIN.

2. Lalu tekan NEXT dan ketika di menu utama, tekan NEXT lagi.



Gambar 4. 10 Tampilan Pengaturan Parameter PID

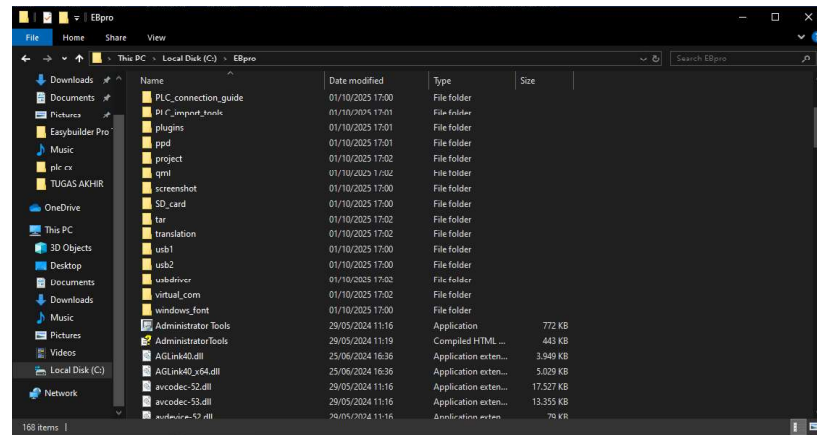
3. Pengaturan parameter PID akan ada pada halaman ke-3 yang ditunjukkan pada **Gambar 4.10** Pada di sisi kanan ada pengaturan untuk memasukan parameter PID. Lalu di bawahnya terdapat tombol PID ON dan AUTO TUNING.
4. Disarankan untuk menggunakan mode *on-off* terlebih dahulu sebelum menggunakan mode PID.
5. Untuk mengatur Parameter PID, dapat langsung input parameter nya (Pastikan mode PID dalam keadaan mati. Bila keadaan menyala, matikan lalu nyalakan kembali).
6. Lalu untuk memulai PID dapat menggunakan tombol di bawah yang berlabel PID ON.
7. Untuk memulai Auto Tuning PID, dapat menekan tombol AUTO TUNING.

4.1.4 Mengambil Data Logging

Untuk mengambil data dari alat, perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Lakukan pengambilan data ini menggunakan PC.
2. Pastikan anda LOG OUT dari akun operator.
3. LOGIN sebagai manager atau engineer untuk dapat mengakses data.
4. Akses data pada halaman ke-3 seperti pada **Gambar 4.10**

5. Tekan tombol BACKUP.
6. Pergi ke File Explorer.



Gambar 4. 11 Tampilan File Explorer

7. Search “Historydata” atau akses file EBPro dan masuk ke file USB1 atau USB2 seperti pada **Gambar 4.11**
8. File data berupa .csv.

4.2 Pengujian Komponen

Pengujian komponen ini berfungsi untuk mengetahui kondisi komponen yang digunakan, dan memastikan komponen tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ada dari manufaktur komponen tersebut.

4.2.1 Pengujian *Power Supply* 24 V

Power supply adalah komponen yang berfungsi untuk memberikan daya keseluruhan komponen yang terhubung dengan daya yang sesuai dengan spesifikasi *power supply*. Pada *power supply* ini menghasilkan daya sekitar 24 V. Untuk memastikan daya yang dikeluarkan serupa, diambil data tegangan yang dihasilkan *power supply*, datanya adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Data Pengukuran Tegangan *Power Supply* 24 V

No.	Tegangan Menurut Spesifikasi	Tegangan Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
1.	24 V	23,9 V	0,1	0,42 %
2.	24 V	23,9 V	0,1	0,42 %
3.	24 V	23,9 V	0,1	0,42 %
4.	24 V	23,8 V	0,2	0,83 %

No.	Tegangan Menurut Spesifikasi	Tegangan Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
5.	24 V	23,9 V	0,1	0,42 %
Rata-rata Error				0,5 %

Pada hasil pengukuran tegangan *power supply* 24 V, dapat dilihat pada **Tabel 4.1** yang menghasilkan daya rata-rata 0,1-0,2 V dibawahnya, atau memiliki *error* sekitar 0,5 %.

4.2.2 Pengujian Power Supply 5 V

Selain menggunakan *power supply* 24 V, digunakan juga *power supply* 5 V untuk mensuplai daya ke sensor ultrasonik. Untuk memastikan daya yang dikeluarkan sesuai, dilakukan pengukuran tegangan. Untuk hasil pengukuran adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengukuran Tegangan *Power Supply* 5 V

No.	Tegangan Menurut Spesifikasi	Tegangan Hasil Pengukuran	Selisih	Error (%)
1.	5 V	4,8 V	0,2	4 %
2.	5 V	4,8 V	0,2	4 %
3.	5 V	4,9 V	0,1	2 %
4.	5 V	4,8 V	0,2	4 %
5.	5 V	4,9 V	0,1	2 %
Rata-rata Error				3,2 %

Dari hasil pengukuran yang ditampilkan pada **Tabel 4.2**, *power supply* 5 V menghasilkan daya 0,1-0,2 V dibawahnya. Atau untuk hasil rata-rata *error* adalah sekitar 3,2 %.

4.2.3 Pengujian Komunikasi HMI – CP1W-CIF11

Untuk memastikan modul komunikasi CP1W-CIF11 dan HMI Weintek MT8071iP dapat berkomunikasi dan bekerjasama dengan baik, dilakukan pengujian komunikasi ini, dengan cara tes respon sistem antara HMI dengan PLC yang menggunakan modul CP1W—CIF11. Untuk hasil pengetesan adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Data Hasil Respon HMI-CP1W-CIF11

No.	Kondisi HMI	Kondisi PLC	Respon Waktu (ms)
1.	Selektor (On)	Selektor (On)	23
2.	Motor (On)	Motor (On)	24
3.	<i>Solenoid Valve 1</i> (On)	<i>Solenoid Valve 1</i> (On)	23
4.	<i>Solenoid Valve 2</i> (On)	<i>Solenoid Valve 2</i> (On)	23
5.	<i>Solenoid Valve 3</i> (On)	<i>Solenoid Valve 3</i> (On)	23
Rata-rata Respon Waktu (ms)			23,2

Dari **Tabel 4.3** dapat dilihat hasil respon modul komunikasi dengan HMI. Hasilnya respon antara kedua komponen dapat bekerja dengan baik dengan respon waktu yang dibawah 0,5 sekon.

4.3 Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan alat bertujuan agar alat dapat berfungsi dengan baik sebagai sistem pengendali *water level* dengan teknologi SCADA dan HMI.

4.3.1 Pengujian Respon Alat

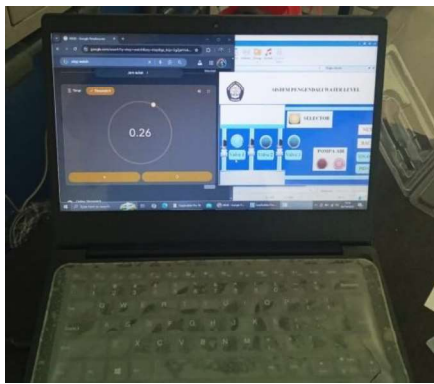
Dengan adanya sistem SCADA dan antarmuka, dapat membuat sistem lebih mudah untuk dikendalikan maupun dimonitoring. Untuk mengetahui sistem ini dapat berkerja dengan baik ke sistem pengendalian *water level*, perlu dilakukan pengujian respon alat saat menggunakan antarmuka dan SCADA agar responnya cepat dan akurat.

Setelah dilakukan pengujian waktu respon alat menggunakan HMI dan PC, adalah hasil sebagai berikut :

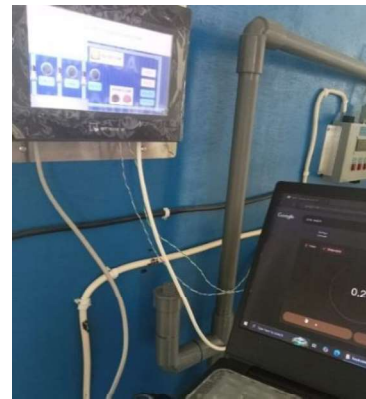
Tabel 4. 4 Data Respon Alat

No. Sampel (HMI)	Respon Alat (ms)	No. Sampel (PC)	Respon Alat (ms)
1	23	1	26
2	23	2	25
3	24	3	26
4	22	4	26
5	23	5	27

No. Sampel (HMI)	Respon Alat (ms)	No. Sampel (PC)	Respon Alat (ms)
6	23	6	26
7	24	7	26
8	23	8	25
9	22	9	26
10	23	10	26
Rata-rata (ms)	23	Rata-rata (ms)	25,9



(a)



(b)

Gambar 4. 12 (a) Dokumentasi Test Respon Sistem pada PC (b) Pada HMI

Pada **Tabel 4.4** Adalah data yang diambil untuk mengukur waktu respon alat saat menggunakan melalui HMI atau PC. Dan hasilnya alat ini memiliki respon yang sangat cepat, yaitu rata-rata berada di bawah 0,23 sekon untuk HMI dan 0,26 untuk PC. Ini artinya alat digunakan menggunakan sistem antarmuka baik dari HMI atau PC, memiliki respon cepat.

4.3.2 Pengujian Akusisi Data

Sistem SCADA selain dapat memonitoring dan mengontrol alat, juga dapat mengambil dan menyimpan data dari alat tersebut. Seperti dari sensor yang digunakan, maupun dari *output* yang dikeluarkan oleh kontroler. Untuk memastikan sistem SCADA pada alat ini berjalan dengan baik, akan dilakukan pengujian akusisi data. Pengujian ini akan membandingkan ketinggian air yang ditampilkan pada HMI/PC dengan yang dibaca oleh PLC melalui CX-Programmer dan ketinggian air sebenarnya pada tangki.

Setelah dilakukan pengujian dan pengukuran ketinggian air melalui HMI/PC dengan yang dibaca oleh PLC dan ketinggian air sebenarnya, berikut adalah hasilnya.

Tabel 4. 5 Data Ketinggian Air

No.	Data Ketinggian Air (HMI)	Ketinggian Air (PLC)	Ketinggian Air Sebenarnya	Selisih	Error (%)
1.	9 cm	9 cm	9 cm	0	0 %
2.	9 cm	9 cm	9 cm	0	0 %
3.	9 cm	9 cm	9 cm	0	0 %
4.	9 cm	9 cm	9 cm	0	0 %
5.	9 cm	9 cm	9 cm	0	0 %
6.	10 cm	10 cm	9,5 cm	0,5	5,5 %
7.	11 cm	11 cm	9,5 cm	1,5	16,5 %
8.	10 cm	10 cm	9,5 cm	0,5	5,5 %
9.	10 cm	10 cm	9,5 cm	0,5	5,5 %
10	11 cm	11 cm	9,5 cm	1,5	16,5 %
Rata-rata	9,7 cm	9,7 cm	9,25 cm	0,45	4,95 %

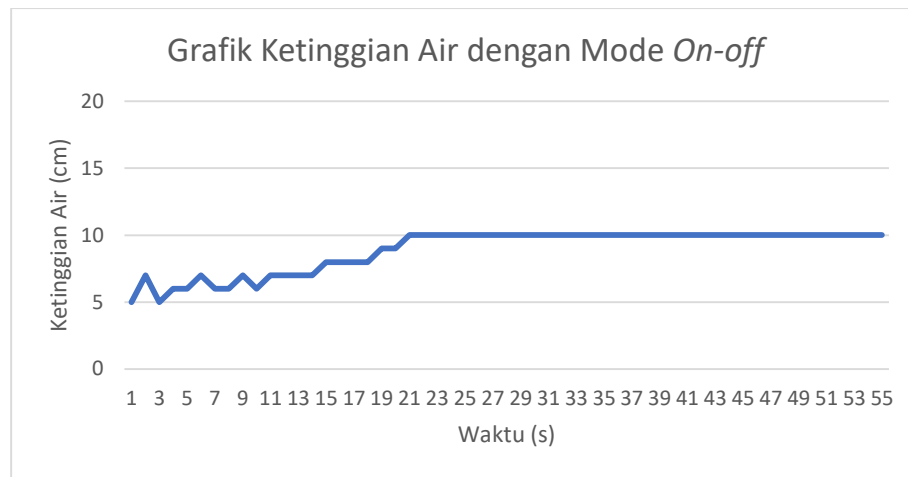
Hasil dari **Tabel 4.5** merupakan hasil pengukuran ketinggian air dari yang ditampilkan oleh HMI maupun PLC pada *software* CX-Programmer nya, dengan ketinggian air sebenarnya pada tangki.

Ketinggian air yang ditampilkan oleh HMI dengan yang diterima oleh PLC dengan ketinggian sebenarnya, memiliki selisih 0,5-1,5 cm. Atau dalam persenan *error* sekitar . Terjadinya *error* atau selisih dari hasil pengukuran ketinggian air yang ditampilkan di HMI/PLC dengan ketinggian sebenarnya dapat disebabkan beberapa faktor, seperti permukaan air yang tidak tenang, membuat pantulan gelombang ultrasonik yang diterima tidak sepresisi yang diinginkan, kondisi alat yang sedikit bergetar diakibatkan oleh pergerakan motor 3 fasa yang berfungsi sebagai pompa air, dan faktor lainnya.

4.3.3 Pengujian Mode *On-off*

Menggunakan mode *on-off* motor hanya akan menyala apabila sensor mendeteksi jarak antara permukaan air ke sensor lebih besar dari *set point*. Untuk

memastikan sistem bekerja dengan baik, maka dilakukan pengujian mode *on-off* yang diatur melalui HMI/PC. Berikut adalah grafik hasilnya.



Gambar 4. 13 Grafik Jarak Permukaan Air ke Sensor

Pada mode *on-off* ini, menggunakan *set point* **10 cm**. Dan dapat dilihat pada grafik, bahwa sistem dapat mencapai *set point* yang ditentukan. Dengan *delay time* = 2 sekon, konstanta waktu = 15,6 sekon, dan *settling time* = 21 sekon.

4.3.4 Pemodelan PID

Pada subbab ini, akan menjelaskan pemodelan sistem untuk kendali metode PID. Serta menjelaskan tahap-tahapannya untuk mencari parameter PID pada sistem.

A. Identifikasi Sistem (Tanpa *Set Point*)

Pada sistem pengendalian *water level*, identifikasi model sistem adalah langkah awal untuk memahami karakteristik dinamis tangki air yang dilakukan tanpa *set point*. Tujuannya untuk mendapatkan parameter seperti *gain* (K), konstanta waktu (τ), dan waktu tunda (L) yang kemudian digunakan untuk model matematis dalam. Pada tabel berikut adalah hasil identifikasi sistem.

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Parameter Awal PID

Parameter PID	<i>Solenoid Valve</i> ¾Inch	<i>Solenoid Valve</i> ½Inch	<i>Solenoid Valve</i> Tertutup
<i>K</i>	0,2	0,23	0,284
τ	53	65	37
<i>L</i>	4	4	4

B. Perhitungan Ziegler-Nichols *Open Loop*

Setelah sistem diidentifikasi, tahap selanjutnya adalah menghitung parameter awal PID berdasarkan Tabel 2.17. Berikut merupakan hasil perhitungannya

1. Perhitungan *Solenoid Valve Tertutup*

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_p &= \frac{1.2}{K} \times \frac{\tau}{L} = \frac{1.2}{0,284 \text{ cm/Hz}} \times \frac{37 \text{ detik}}{4 \text{ detik}} \\ &= \frac{2775}{71} = 39,08 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_i &= 2 \times L \\ &= 2 \times 4 \text{ detik} \\ &= 8 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_i &= \frac{K_p}{T_i} = \frac{39,08}{8} \\ &= 4,885 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_d &= 0,5 \times L \\ &= 0,5 \times 4 \text{ detik} \\ &= 2 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_d &= K_p \times T_d \\ &= 39,08 \times 2 \text{ detik} \\ &= 78,16 \end{aligned}$$

2. Perhitungan *Solenoid Valve ½ Inch*

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_p &= \frac{1.2}{K} \times \frac{\tau}{L} = \frac{1.2}{0,23 \text{ cm/Hz}} \times \frac{65 \text{ detik}}{4 \text{ detik}} \\ &= \frac{1950}{23} = 84,78 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_i &= 2 \times L \\ &= 2 \times 4 \text{ detik} \\ &= 8 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad K_i &= \frac{K_p}{T_i} = \frac{84,78}{8} \\ &= 10,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad T_d &= 0,5 \times L \\ &= 0,5 \times 4 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$= 2 \text{ detik}$$

- $K_d = K_p \times T_d$
 $= 84,78 \times 2 \text{ detik}$
 $= 169,56$

3. Perhitungan Solenoid Valve $\frac{3}{4}$ Inch

- $K_p = \frac{1.2}{K} \times \frac{\tau}{L} = \frac{1.2}{0,2 \text{ cm/Hz}} \times \frac{53 \text{ detik}}{4 \text{ detik}}$
 $= \frac{159}{2} = 79,5$

- $T_i = 2 \times 4$
 $= 2 \times 8 \text{ detik}$
 $= 16 \text{ detik}$

- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{79,5}{16}$
 $= 4,96875$

- $T_d = 0,5 \times L$
 $= 0,5 \times 4 \text{ detik}$
 $= 2 \text{ detik}$

- $K_d = K_p \times T_d$
 $= 79,5 \times 2 \text{ detik}$
 $= 159$

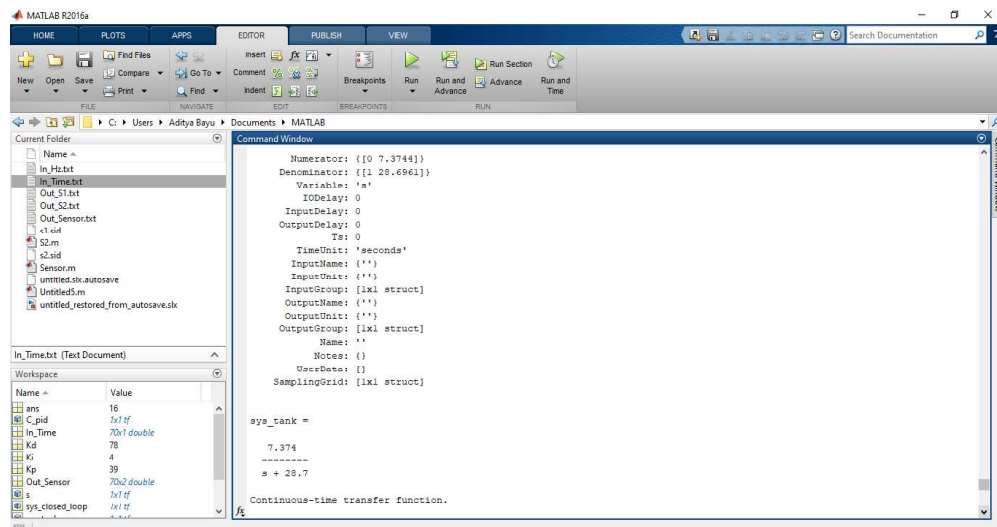
C. Pemodelan melalui MATLAB

Setelah mendapatkan parameter PID yaitu K_p , K_i , dan K_d , menggunakan Metode Ziegler-Nichols, dilakukan pemodelan melalui aplikasi MATLAB dan dilakukan *fine-tuning* serta guna untuk validasi pada parameter PID setelah didapatnya melalui Metoda Ziegler-Nichols. Pada MATLAB, *fine-tuning* dilakukan dengan cara membuat *transfer function* untuk pemodelan pada sistem pengendalian *water level*. Tahap pertama adalah substitusi atau memasukan nilai hasil perhitungan ke MATLAB untuk mendapat nilai dari *transfer function*.

1. Pemodelan Solenoid Valve Tertutup

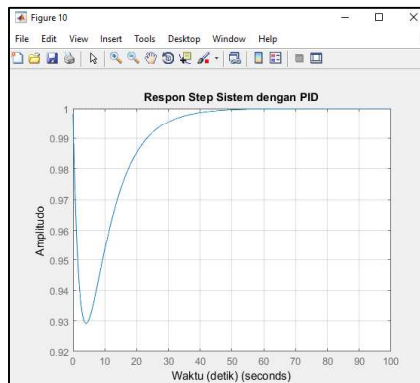
Parameter PID yang didapat dari Metode Ziegler-Nichols kemudian dimasukan ke MATLAB yang menggunakan *transfer function* yang menghasilkan nilai $\frac{7.374}{s+28.7}$. Sesuai yang ditunjukkan pada **Gambar 4.14** untuk hasil dari *transfer*

function yang dilakukan. Kemudian ditambahkan ke MATLAB editor untuk mendapatkan grafik.



Gambar 4. 14 Hasil *Transfer Function* MATLAB untuk *Solenoid Valve* Tertutup

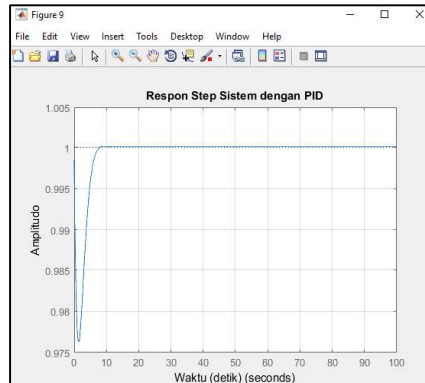
Sumber : [2]



Gambar 4. 15 Grafik Respon dari MATLAB untuk *Solenoid Valve* Tertutup

Sumber : [2]

Hasil dari grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.15** menunjukkan sistem dengan parameter nilai $K_p = 39,08$, $K_i = 4,885$, dan $K_d = 78,16$, mengalami *overshoot* kecil yang melebihi nilai 1 untuk amplitudonya, sebelum akhirnya mencapai *steady state*. Dan untuk *rise time* dari sistem masih cukup lambat. Oleh karena itu dilakukan *fine-tuning* pada parameternya. Sehingga didapat parameter PID yaitu $K_p = 110,08$, $K_i = 50,885$, dan $K_d = 90,16$. Yang hasil dari parameter tersebut ditunjukkan pada **Gambar 4.16**.



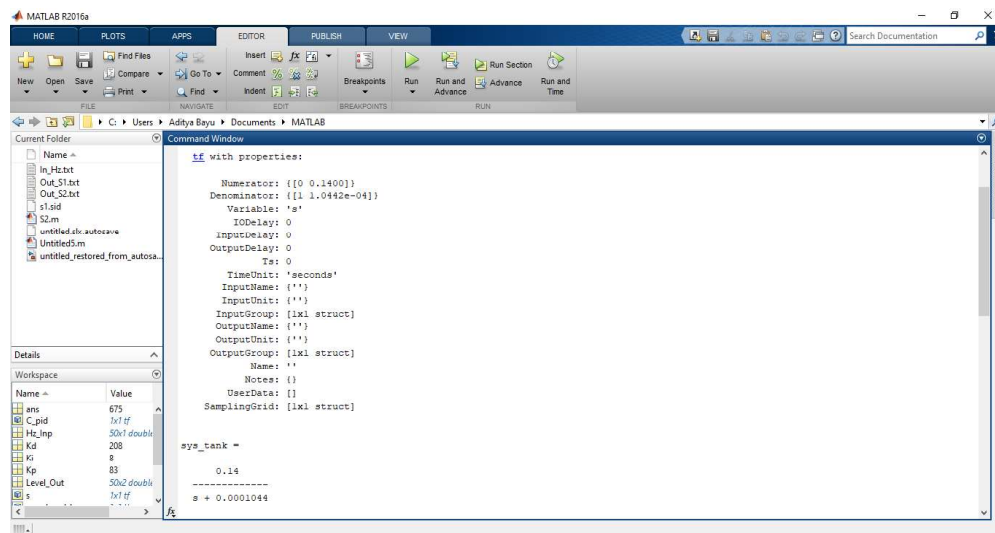
Gambar 4. 16 Grafik Parameter PID Hasil *Fine-Tuning* untuk *Solenoid Valve* Tertutup

Sumber : [2]

Pada grafik respon sistem setelah dilakukan *fine-tuning*, mendapatkan hasil yang lebih baik ketimbang sebelum *fine-tuning*. Respon sistem mengalami *improvement* mulai dari tidak adanya *overshoot*, *rise time* yang lebih cepat, dan mendapatkan durasi waktu untuk mencapai *steady state* yang lebih cepat.

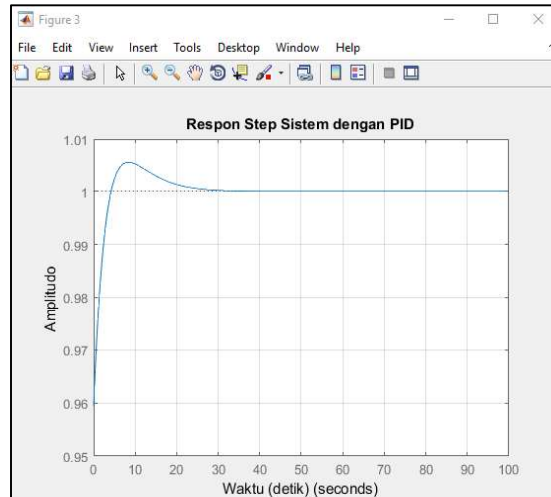
2. Pemodelan *Solenoid Valve* ½ Inch

Nilai dari hasil perhitungan kemudian dimasukan kepada MATLAB untuk menghasilkan nilai melalui *transfer function*. Hasil dari tahapan tersebut memperoleh nilai yaitu $\frac{0,14}{s+0,0001044}$, yang ditunjukan pada **Gambar 4.17**. Kemudian dimodelkan ke editor MATLAB untuk mendapatkan grafik respon sistem.



Gambar 4. 17 Hasil *Transfer Function* MATLAB untuk *Solenoid Valve* ½ Inch

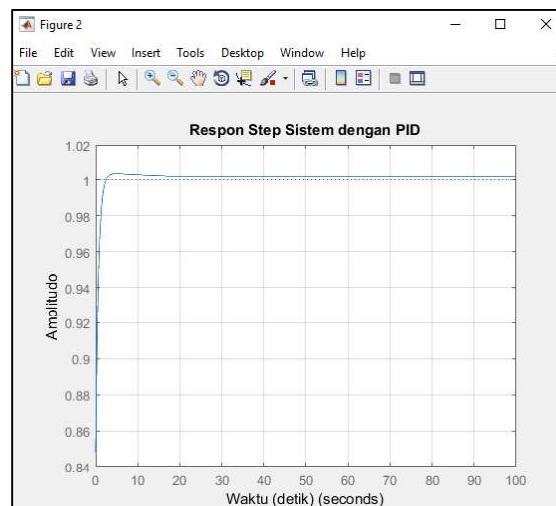
Sumber : [2]



Gambar 4. 18 Grafik Parameter PID untuk *Solenoid Valve* ½ Inch

Sumber : [2]

Parameter yang didapat dari hasil perhitungan, yaitu dengan Metode Ziegler-Nichols $K_p = 84,78$, $K_i = 10,59$, dan $K_d = 169,56$, menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.18** menunjukkan respon sistem yang mengalami *overshoot* dengan durasi waktu yang cukup lama untuk mencapai *steady state*. Maka dilakukan *fine-tuning* pada parameter tersebut, maka didapat parameter PID, yaitu $K_p = 73,47$, $K_i = 3.347$, dan $K_d = 40.675$.



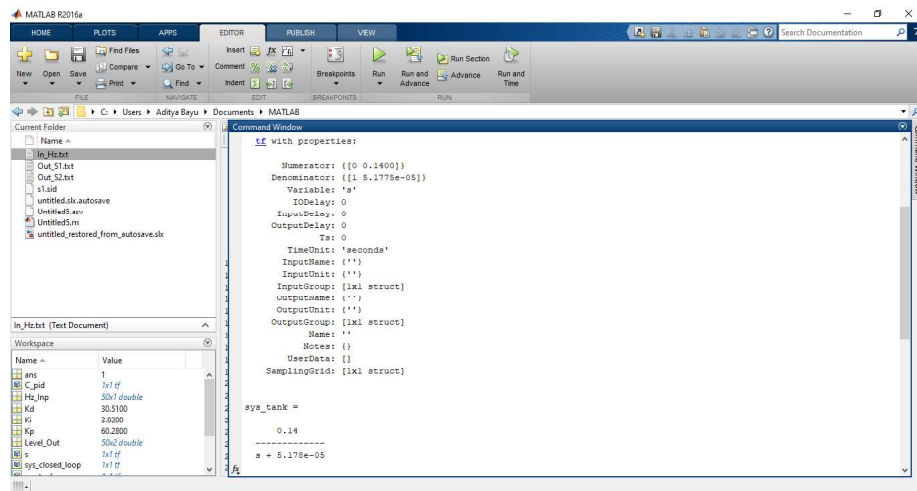
Gambar 4. 19 Grafik Parameter PID Hasil *Fine-Tuning* untuk *Solenoid Valve* ¾ Inch

Sumber : [2]

Hasil respon sistem setelah dilakukan *fine-tuning* pada parameter PID tersebut, sehingga mendapatkan respon sistem pada **Gambar 4.19** yang hasilnya sistem tidak mengalami *overshoot* yang berlebih dan memerlukan respon yang lebih pendek untuk mencapai *steady statenya*.

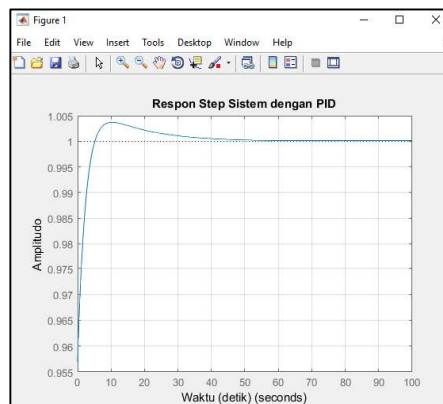
3. Pemodelan Solenoid Valve $\frac{3}{4}$ Inch

Setelah disubstitusikan, nilai hasil perhitungan parameter dari Metode Ziegler-Nichols, MATLAB menghasilkan nilai dari *transfer function*. Nilai yang diperoleh menggunakan MATLAB dengan *transfer function* adalah $\frac{0,14}{s+5,178e-11}$ yang kemudian dimodelkan ke editor MATLAB. Berikut pada **Gambar 4.20** dan **Gambar 4.21** untuk grafiknya.



Gambar 4. 20 MATLAB dengan *Transfer Function* untuk *Solenoid Valve* $\frac{3}{4}$ Inch

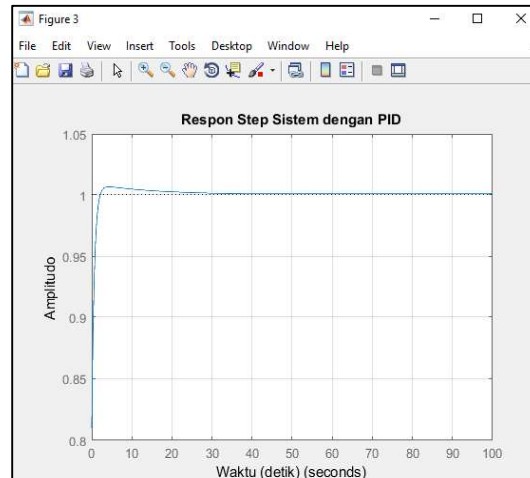
Sumber : [2]



Gambar 4. 21 Grafik Hasil Pemodelan MATLAB untuk *Solenoid Valve* $\frac{3}{4}$ Inch

Sumber : [2]

Hasil pemodelan untuk *solenoid valve* $\frac{3}{4}$ Inch dengan nilai $K_p = 79,5$, $K_i = 4,96875$, dan $K_d = 159$ menunjukkan terjadinya *overshoot* dan perlu waktu yang lama untuk mencapai fase *steady state*. Maka dari itu, dilakukan *fine-tuning* dan parameter PID diturunkan menjadi menjadi $K_p = 60,28$, $K_i = 3,92$, dan $K_d = 30,51$. Dan berikut adalah hasilnya.



Gambar 4. 22 Grafik Parameter PID Hasil *Fine-Tuning* untuk *Solenoid Valve* $\frac{3}{4}$ Inch

Sumber : [2]

Hasil dari *fine tuning* pada parameter PID, grafik pada **Gambar 4.22** tidak menunjukkan *overshoot* berlebih, yang menandakan bahwa respon sistem menjadi lebih stabil. Selain itu, waktu yang diperlukan untuk *steady state* juga lebih cepat daripada dengan hasil sebelum *fine tuning*.

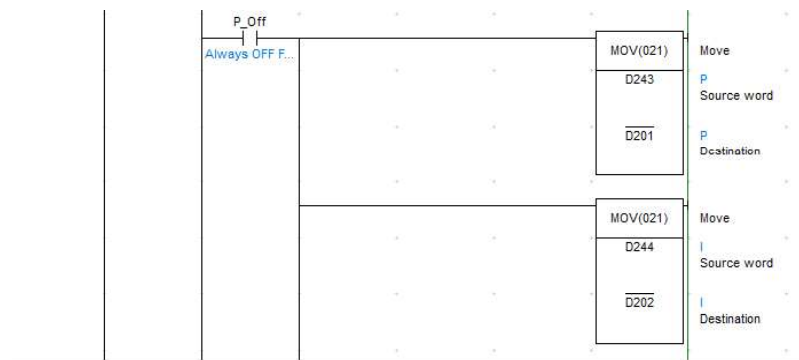
D. PID Auto Tuning (PIDAT)

PIDAT atau *PID Auto Tuning* merupakan program *ladder* pada PLC yang men-*tuning* parameter PID dengan otomatis. Pada PLC Omron, hal dilakukan menggunakan metode *limit cycle*. Metode *limit cycle* bekerja dengan cara PLC melakukan osilasi pada sistem secara mandiri. Caranya PLC akan mengaktifkan hingga mencapai *set point* dan menonaktifkan aktuatur ketika sudah mencapai atau melebihi *set point* untuk mengetahui respon yang didapat dalam sistem. Setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap parameter PID menggunakan data dari hasil respon sistem sesudah melalui *limit cycle*. Untuk lebih jelasnya, berikut adalah penjelasan mengenai ladder pada *PID Auto Tuning*.

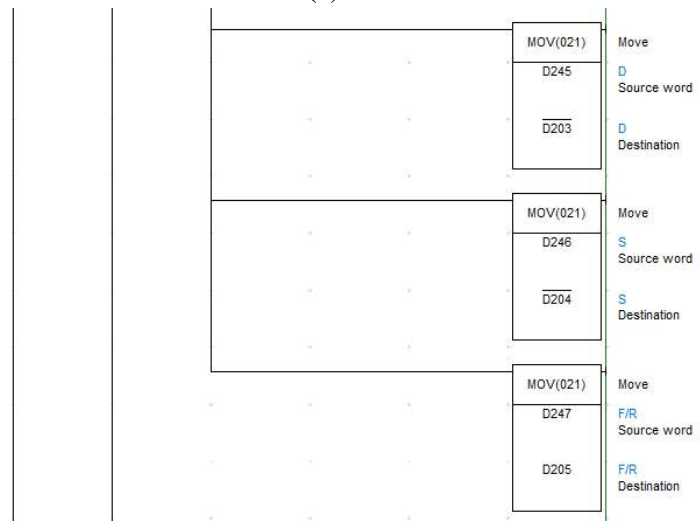


Gambar 4. 23 Program PIDAT PLC

Ladder dengan instruksi PIDAT di **Gambar 4.23** merupakan jenis *special ladder* yang memiliki fungsi untuk perhitungan algoritma PID. Namun berbeda dengan PID biasa, *Ladder* ini juga memiliki fungsi untuk melakukan *auto tuning* pada parameter PID. Dengan menggunakan SV atau *set value* sebagai nilai yang dituju atau *set point*, PV atau *process value* sebagai nilai sebenarnya, hingga dan *output* menjadi MV atau *manipulated value*.



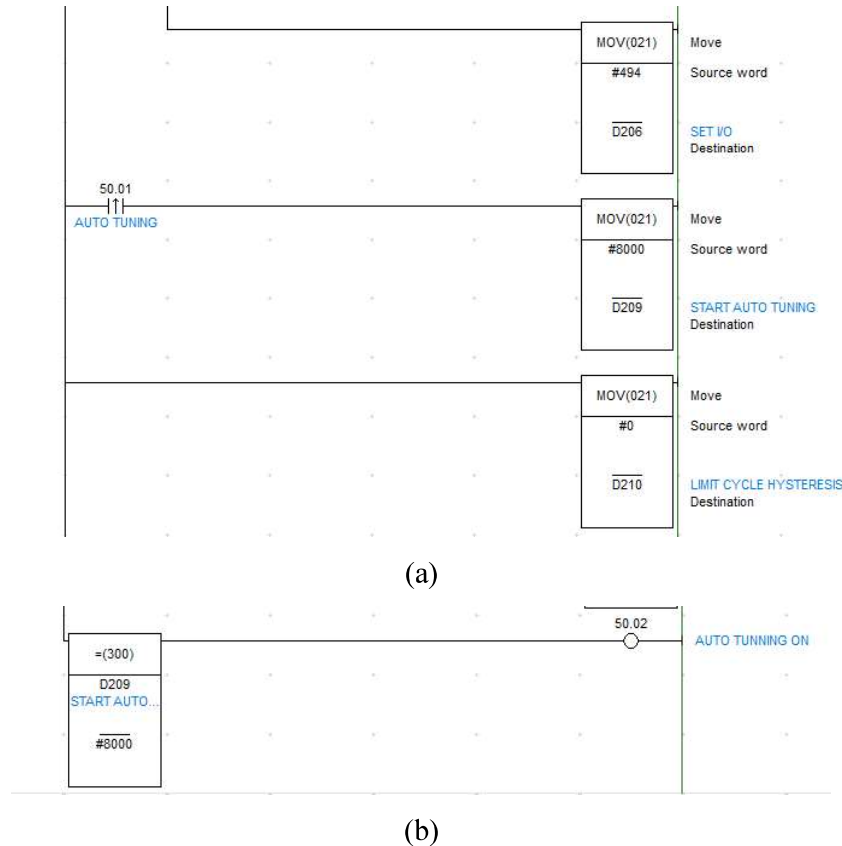
(a)



(b)

Gambar 4. 24 Ladder Parameter PID (a) Parameter P,I, (b) Parameter D, Sampling Time, dan Forward/Reverse Logic

Pada **Gambar 4.24** merupakan program yang menunjukkan parameter PID pada *ladder* PLC. Parameter tersebut berisikan P, I, D, *sampling time*, dan *forward/reverse logic*. Pada sistem ini, parameter PID dapat dimasukkan secara manual melalui HMI. *Input*-an parameter tersebut masuk ke alamat D201 untuk Proporsional, D202 untuk Integral, dan D203 untuk Derivatif.



Gambar 4. 25 Ladder Auto Tuning PID (a) Bagian Pertama, (b) Bagian Kedua

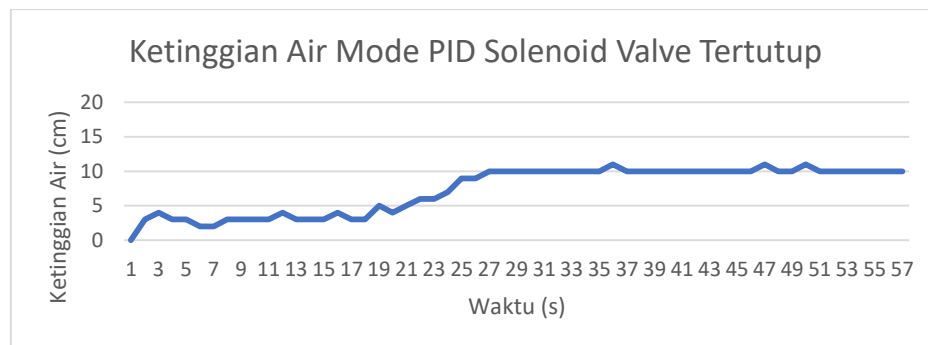
Ladder PLC di **Gambar 4.25** adalah program untuk keberlangsungan proses *auto tuning*. Terdapat tombol 50.01 untuk memulai *auto tuning* yang dapat dilakukan melalui HMI. Terdapat juga *special ladder limit cycle hysteresis* untuk keberlangsungan proses *auto tuning* pada PLC yang menggunakan metode *limit cycle*. *Limit cycle hysteresis* bertugas untuk membuat toleransi pada *error* di sistem agar proses *limit cycle* dapat maksimal. Sebagai contoh, sistem memiliki *set point* 10 cm, maka *limit cycle hysteresis* membuat toleransi ± 1 cm agar PLC dapat menyala dan mematikan aktuator secara 100%. Dengan begitu, PLC dapat mengetahui respon sistem lebih cepat.

4.3.5 Pengujian Mode PID

Pada mode PID ini, menggunakan parameter yang pada penelitian sebelumnya yang menggunakan alat yang sama dengan hasil pemodelan menggunakan metode Ziegler-Nichols pada subbab sebelumnya sudah dibahas, yang kemudian dimodelkan melalui Matlab dan dilakukan *fine-tuning*. Selain itu, dilakukan pengujian menggunakan mode PIDAT atau *PID-auto tuning* yang dengan caranya menginput parameter yang ada, kemudian diaktifkan alatnya agar dapat mengumpulkan data-data yang kemudian, secara otomatis, alat merubah parameter PIDnya.

A. Mode PID dengan *Solenoid Valve* Tertutup

Pada mode PID, sistem bekerja untuk memastikan ketinggian air sesuai dengan *set point* yang ditentukan, dengan *solenoid valve* tertutup atau terbuka. Pada pengujian kali ini, akan dilakukan pengoperasian alat dengan mode PID ketika *solenoid valve* tertutup. Dengan parameter PID $K_p = 110$, $K_i = 50$, dan $K_d = 90$ [2].



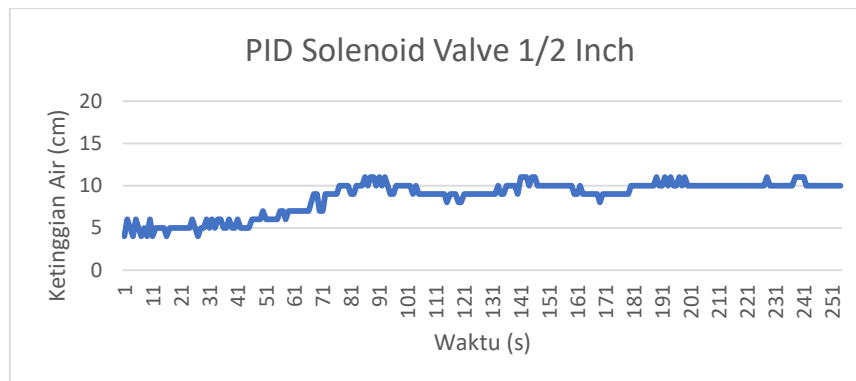
Gambar 4. 26 Grafik Ketinggian Air Mode PID dengan *Solenoid Valve* Tertutup

Hasil grafik pada **Gambar 4.26** menunjukkan sistem telah mencapai ketinggian air sesuai *set point*, yaitu **10 cm**. Hasil tersebut dicapai dalam rentan waktu dibawah 1 menit. Dengan *delay time* (t_d) = 2 sekon, konstanta waktu (τ) = 22,6 sekon, dan *settling time* t_s = 27 sekon yang memiliki toleransi terhadap set point 10 cm yaitu 9-11 cm.

B. Mode PID dengan *Solenoid Valve* ½ Inch Terbuka

Pada pengujian kali ini, akan dilakukan pengoperasian alat dengan mode PID ketika *solenoid valve* ½ Inch terbuka. Cara pengambilan data menggunakan mode PID dengan *solenoid valve* terbuka secara bersamaan diaktifkan. Parameter

PID yang digunakan masih sama dengan sebelumnya, yaitu $K_p = 73$, $K_i = 3$, dan $K_d = 41$ [2]. Berikut adalah hasil pengumpulan datanya berupa grafik.



Gambar 4. 27 Ketinggian Air Mode PID dengan *Solenoid Valve* ½ Inch Terbuka

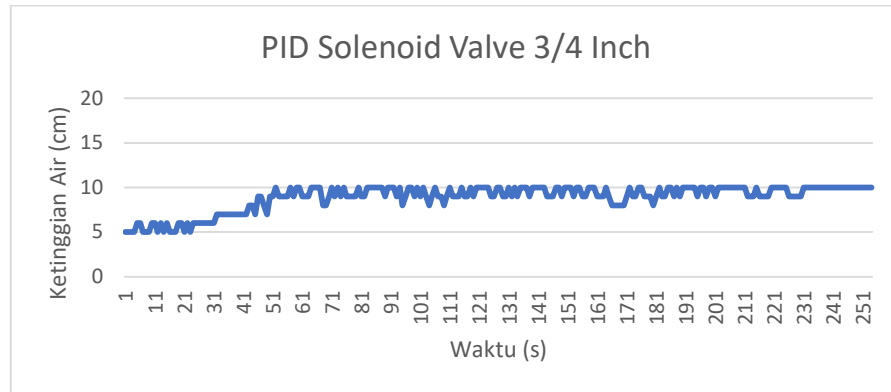


Gambar 4. 28 Dokumentasi Tangki

Pada grafik diatas di **Gambar 4.27**, sistem telah mendekati *set point* yaitu **10 cm**. walau pada sensor terbaca ketinggian air melebihi *set point* pada hasil dokumentasi pada **Gambar 4.28** membuktikan bahwa ketinggian air telah mencapai *set point*. Sensor membaca ketinggian yang berbeda dengan aktualnya, dapat diakibatkan permukaan air yang tidak rata atau bergelombang, membuat pembacaan ketinggian air berbeda-beda. Dengan *delay time* (t_d) = 2 sekon, konstanta waktu (τ) = 75,02 sekon, dan *settling time* t_s = 181 sekon.

C. Mode PID dengan *Solenoid Valve* ¾ Inch Terbuka

Pada percobaan ini, mode PID digunakan ketika *solenoid valve* ¾ inch dibuka, dengan parameter PID yang serupa dengan sebelumnya, yaitu $K_p = 61$, $K_i = 4$, dan $K_d = 31$ [2]. Berikut adalah grafiknya.



Gambar 4. 29 Grafik ketinggian Air PID dengan Solenoid Valve $\frac{3}{4}$ Terbuka

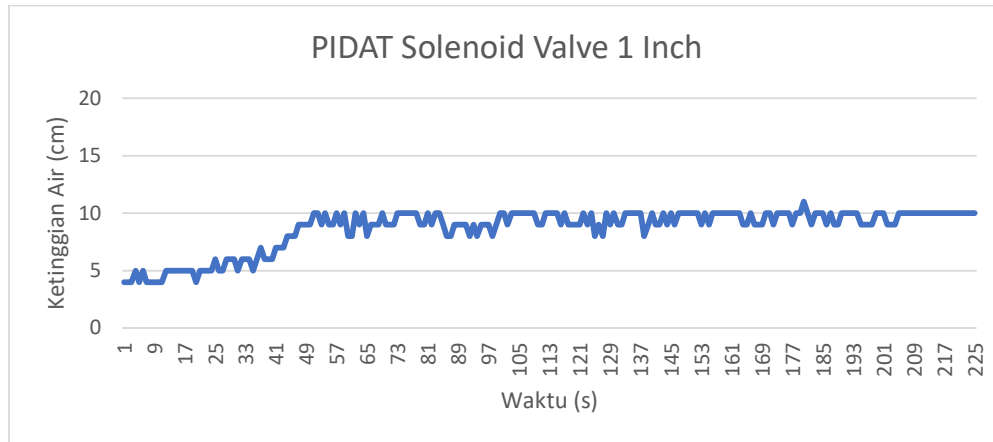


Gambar 4. 30 Dokumentasi Percobaan

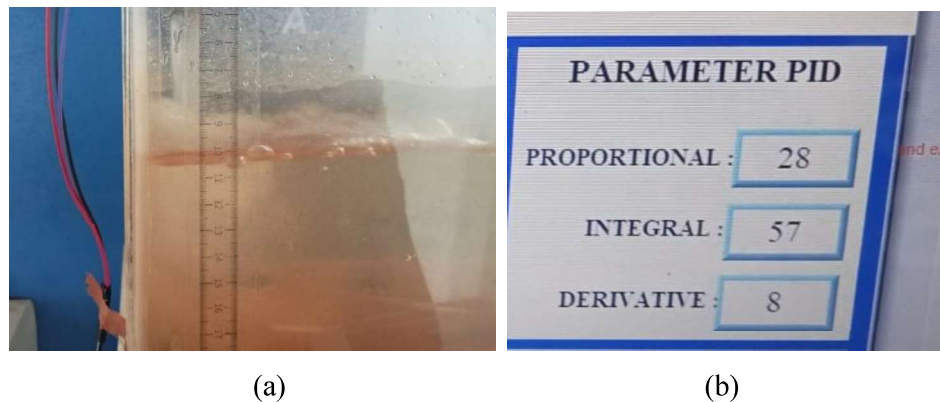
Ketika mode PID digunakan untuk mengatur ketinggian air pada tangki dengan *solenoid valve* yang terbuka, maka hasil dari percobaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.29**. Dapat dilihat bahwa hasil dari pengambilan data menunjukkan ketinggian air mencapai *set point*, yaitu **10 cm**. Pada **Gambar 4.30** adalah hasil dokumentasi percobaan. Dengan *delay time* (t_d) = 4 sekon, konstanta waktu (τ) = 43,45 sekon, dan *settling time* t_s = 182 sekon.

D. Mode PIDAT dengan Solenoid Valve 1 Inch Terbuka

Pada percobaan ini, mode PIDAT digunakan saat *solenoid valve* 1 inch dibuka, dengan diberikan parameter PID yang serupa dengan sebelumnya, yaitu $K_p = 73$, $K_i = 3$, dan $K_d = 41$ sebagai awalan [2]. Berikut adalah hasilnya.



Gambar 4. 31 Ketinggian Air Mode PIDAT dengan *Solenoid Valve* 1 inch Terbuka



Gambar 4. 32 (a) Dokumentasi Percobaan (b) Parameter PIDAT

Di **Gambar 4.31** merupakan grafik ketinggian air pada mode PIDAT saat *solenoid valve* 1 inch dibuka. Dan hasilnya mencapai *set point* yaitu 10 cm. dengan pada **Gambar 4.32** adalah hasil dokumentasi percobaan dan Parameter PID setelah dilakukan *auto tuning*, yaitu $P = 28$, $I = 57$, dan $D = 8$. Dengan *delay time* (t_d) = 3 sekon, konstanta waktu (τ) = 42,46 sekon, dan *settling time* $t_s = 140$ sekon.

4.4 Analisa Alat Keseluruhan

Dari hasil percobaan, dapat dianalisa menjadi beberapa poin mengenai alat pengendalian *water level* yang dilengkapi sistem SCADA dengan kendali PID adalah sebagai berikut :

- A. Dari segi respon alat, sistem HMI dan PC untuk mengendalikan dan mengontrol alat memiliki respon yang cepat dengan rata-rata dibawah 0,5 sekon.

- B. Dari segi pembacaan sensor untuk akusisi data, sensor ultrasonik memiliki sensitivitas yang cukup tinggi, dengan sedikit getaran pada alat atau permukaan air yang tidak rata, akan membuat pembacaan berubah-ubah. Walaupun begitu, sensor dapat memberikan umpan balik yang cukup akurat untuk sistem
- C. Pada mode on-off, alat mencapai *set point* pada *main tank*. Dengan *delay time* = 2 sekon, konstanta waktu = 15,6 sekon, dan *settling time* = 21 sekon.
- D. Untuk perbandingan mode PID pada kasus *solenoid valve* terbuka untuk masing-masing ukuran ataupun ketika tertutup, pada **Tabel 4.7** adalah berisikan *delay time* (t_d), konstanta waktu (τ), dan *settling time* (t_s) pada masing-masing kasus.

Tabel 4. 7 Parameter Hasil PID dan PIDAT

Parameter	On-off (s)	PID <i>Solenoid Valve</i> Tertutup (s)	PID <i>Solenoid Valve ½"</i> (s)	PID <i>Solenoid Valve ¾"</i> (s)	PIDAT <i>Solenoid Valve 1"</i> (s)
t_d	2	2	2	4	3
τ	15,6	22,6	63,26	43,45	42,46
t_s	21	27	181	182	140

- E. Pada mode PID ketika solenoid tertutup atau tanpa gangguan membutuhkan hanya 2 sekon untuk *delay time*, konstanta waktu sekitar 22,6, dan *settling time* sekitar 27 sekon.
- F. Untuk mode PID saat solenoid ½ Inch 2 sekon untuk *delay time*, konstanta waktu sekitar 63,26 sekon, dan *settling time* sekitar 181 sekon.
- G. Ketika mode PID saat solenoid ¾ Inch dibuka memerlukan 4 sekon untuk *delay time*, konstanta waktu sekitar 43,45, dan *settling time* sekitar 182 sekon.
- H. Saat mode PIDAT (PID + Auto Tuning) ketika solenoid 1 Inch dibuka, diperlukan 3 sekon untuk *delay time*, konstanta waktu sekitar 42,46, dan *settling time* sekitar 140 sekon.

Berdasarkan hasil diatas, sistem ketika menggunakan mode *on-off* pengendalian air memiliki respon mencapai *set point* pada 21 sekon. Sementara ketika mode PID tanpa gangguan untuk mencapai *settling time* sekitar 27 sekon. Untuk mode PID diberikan gangguan agar bisa mencapai *settling time*, diperlukan waktu 181 sekon untuk solenoid ½ Inch dan 182 sekon untuk solenoid ¾ Inch.