



Sistem Monitor Dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT Menggunakan PLC Dan HMI Omron

Proyek Akhir

Oleh:

Diki Wahyudi (3232211056)

**Program Studi Teknik Instrumentasi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2024**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Sistem Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT Menggunakan PLC dan HMI Omron" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 22 April 2024



Diki Wahyudi

NIM: 3232211056

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Ahli Madya Teknik (AMd.T.)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Diki Wahyudi (3232211056)

Tanggal Sidang: 05 Juli 2024

Disetujui oleh :

Penguji 1



1. Ardian Budi Kusuma Atmaja, S.Tr.T.
NIK: 214172

Pembimbing 1



1. Ir. Kamarudin, S.T., M.T., IPM.
NIK: 110071

Penguji 2



2. Mu'thiana Gusnam, S.Kom., M.T.
NIK: 123293

Sistem Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT Menggunakan PLC dan HMI Omron

Abstrak

Couple Tank adalah suatu sistem tangki yang terdiri dari 2 tangki atau lebih yang dihubungkan dengan pipa. Di dalam pipa terdapat katup atau valve untuk mengontrol aliran air dari satu tangki ke tangki lainnya. Sehingga seseorang harus menuju ke katup dan memutarinya bila ingin berhenti atau mulai aliran air secara manual yang akan memakan waktu dan tenaga. Sehingga berpotensi meningkatkan human error ketika putaran katup terlambat atau terlalu cepat. Oleh karena itu, dikembangkan sistem tangki berbasis IoT yang dapat mempermudah dan mempercepat pengendalian ketinggian air di dalam tangki. Pada sistem ini digunakan sensor tekanan untuk membaca ketinggian air di dalam tangki dan servo valve untuk mengatur ketinggian air dihubungkan dengan modul I/O PLC Omron. HMI NB10W-TW01B dan PLC dihubungkan membentuk antarmuka yang dapat memantau dan mengontrol ketinggian air di tangki. PLC akan digunakan untuk sistem kendali PID.

Kata kunci: Couple Tank, Sensor Tekanan, PLC, HMI, IoT

Tank Couple Monitor And Control System IoT-Based Using Omron PLC And HMI

Abstract

Couple Tank is a tank system consisting of two or more tanks connected by pipes. In the pipe there is a valve to control the flow of water from one tank to another. So someone has to go to the valve and turn it if they want to stop or start the water flow manually, which will take time and energy. So it has the potential to increase human error when the valve rotation is too late or too fast. Therefore, an IoT-based tank system was developed which can simplify and speed up controlling the water level in the tank. In this system, a pressure sensor is used to read the water level in the tank and a servo valve to regulate the water level is connected to the Omron PLC I/O module. HMI NB10W-TW01B and PLC are connected to form an interface that can monitor and control the water level in the tank. PLC will be used for the PID control system.

Keywords: Couple Tank, Pressure Sensor, PLC, HMI, IoT

Kata Pengantar

Alhamdulillah, Puji dan Syukur kita panjatkan kepada Allah ﷻ yang hanya kepada-Nya memohon pertolongan. Atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Sistem Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT Menggunakan PLC dan HMI Omron”. Shalawat dan salam kepada Rasulullah ﷺ yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik untuk umat manusia.

Penulis menyadari banyak pihak yang memberikan dukungan dan bantuan selama menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, sudah sepantasnya penulis dengan penuh hormat mengucapkan terimakasih dan mendoakan semoga Allah ﷻ memberikan balasan terbaik kepada:

- Bapak Uuf Brajawidagda, S.T., M.T., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
- Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Elektro Politeknik Negeri Batam.
- Bapak Ir. Kamarudin, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Program Studi Prodi Instrumentasi dan Pembimbing Tugas Akhir.
- Dosen-dosen Prodi Instrumentasi Politeknik Negeri Batam.
- Keluarga besar penulis yang telah memberikan dukungan moral dan dana.
- Rekan-rekan sejawat yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.

Terima kasih juga penulis haturkan untuk semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna, penulis masih melakukan kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir. Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sedalam-dalamnya atas kesalahan yang dilakukan penulis. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik. Kebenaran datangnya dari Allah ﷻ dan kesalahan datangnya dari diri penulis. Semoga Allah ﷻ senantiasa melimpahkan Rahmat dan Ridho-Nya kepada kita semua.

Batam, 22 April 2024



Diki Wahyudi

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstrak.....	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel.....	x
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	1
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat.....	2
1.5. Batasan	2
1.6. <i>Work Breakdown Structure</i>	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
Bab 3. Metode Pelaksanaan.....	11
3.1. Studi Literatur.....	12
3.2. Karakteristik Spesifikasi Produk.....	12
3.3. Perancangan Produk.....	12
3.1.1. Perancangan Mekanikal	12
3.1.2. Perancangan Elektrikal.....	19
3.1.2. Perancangan <i>Interface</i>	26
3.3. Pengujian	39
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	42
4.1. Data Hasil Penelitian	42
4.1.1. Akuisisi Data Sensor Tekanan	42
4.1.2. Percobaan PID	55
4.1.2. Tes Efisiensi Waktu	63
4.2. Pembahasan.....	64
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	65
5.1. Kesimpulan.....	65
5.2. Saran.....	65
Daftar Pustaka	66
Biodata	68
Lampiran 1.....	69
Lampiran 2.....	71

Daftar Gambar

Gambar 1. Diagram blok pengendali PID	4
Gambar 2. Kurva respon berbentuk S.....	5
Gambar 3. Karakteristik keluaran suatu sistem dengan penambahan Kp.	6
Gambar 4. Diagram Alir Proses Pelaksanaan Proyek	11
Gambar 5. Desain 3D Mekanikal	13
Gambar 6. Desain <i>Beam Tank</i>	14
Gambar 7. Desain <i>Cylinder Tank</i>	14
Gambar 8. Desain <i>Framework</i>	15
Gambar 9. <i>Base Bottom</i> Akrilik.....	15
Gambar 10. Akrilik <i>Middle Base</i>	16
Gambar 11. Akrilik <i>Top Base</i>	16
Gambar 12. Roda, <i>Base</i> Roda, dan Tower Lamp.....	17
Gambar 13. Pompa Air, <i>Bracket Valve</i> , dan <i>Valve</i>	17
Gambar 14. Panel Elektrikal dan Kontrol Box.....	18
Gambar 15. <i>Bracket</i> Kontrol Box	18
Gambar 16. Desain Power Distribusi	19
Gambar 17. <i>Schematic Power Supply</i>	20
Gambar 18. <i>Schematic PLC</i>	20
Gambar 19. <i>Mapping Input Analog PLC</i>	21
Gambar 20. <i>Mapping I/O Digital PLC</i>	21
Gambar 21. <i>Mapping Terminal Blok</i>	22
Gambar 22. <i>Schematic Input Device</i>	22
Gambar 23. Sensor Tekanan <i>Pin Out</i>	23
Gambar 24. Motor Servo <i>Pin Out</i>	23
Gambar 25. <i>Schematic Output Device</i>	24
Gambar 26. <i>Power HMI</i>	24
Gambar 27. Kipas dan Ethernet Hub	25
Gambar 28. <i>Mapping I/O Arduino UNO</i>	25
Gambar 29. <i>Login User</i>	26
Gambar 30. Menu Utama	27
Gambar 31. Monitor Status Input.....	27
Gambar 32. Kontrol Manual Mode.....	28
Gambar 33. Tampilan Detail Tangki 1	28
Gambar 34. Tampilan Detal Tangki 2.....	29
Gambar 35. Tampilan Detail Tangki 3	29
Gambar 36. Tampilan Detail Tampilan Tangki 4	30
Gambar 37. Tampilan Detail Valve 1.....	30
Gambar 38. Tampilan Detail Valve 2.....	31

Gambar 39. Tampilan Detail Tangki 3	31
Gambar 40. Tampilan Detail Tangki 4	32
Gambar 41. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 1	32
Gambar 42. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 2	33
Gambar 43. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 3	33
Gambar 44. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 4	34
Gambar 45. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 1	34
Gambar 46. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 2	35
Gambar 47. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 3	35
Gambar 48. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 4	36
Gambar 49. Tampilan Ketika Tombol <i>Emergency</i> Ditekan	36
Gambar 50. Diagram Use Case Interface	37
Gambar 51. Diagram Alir Sistem	38
Gambar 52. Liquid Level System with Interaction	39
Gambar 53. Nilai Keluaran yang Berhasil	40
Gambar 54. Menu <i>IO Table and Unit Setup</i>	42
Gambar 55. <i>PLC IO Table</i>	42
Gambar 56. Halaman Konfigurasi Parameter <i>Analog Input Expansion CJ1W-AD04U</i>	43
Gambar 57. Simbol SCL (194) dan Grafik Linier SCL	44
Gambar 58. Diagram Alir Akuisisi Data Sensor pada PLC CJ2H	45
Gambar 59. Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tekanan dan Meteran	46
Gambar 60. Set Value 10 cm	55
Gambar 61. Set Value 20 cm	56
Gambar 62. Set Value 30 cm	56
Gambar 63. Set Value 40 cm	57
Gambar 64. Set Value 10 cm	57
Gambar 65. Set Value 20 cm	58
Gambar 66. Set Value 30 cm	58
Gambar 67. Set Value 40 cm	59
Gambar 68. Set Value 10 cm	59
Gambar 69. Set Value 20 cm	60
Gambar 70. Set Value 30 cm	60
Gambar 71. Set Value 40 cm	61
Gambar 72. Set Value 10 cm	61
Gambar 73. Set Value 20 cm	62
Gambar 74. Set Value 30 cm	62
Gambar 75. Set Value 40 cm	63
Gambar 76. Fisik Produk Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT	71

Daftar Tabel

Tabel 1. <i>Work Breakdown Structure</i>	3
Tabel 2. <i>Tuning Ziegler-Nichols metode ke-1</i>	5
Tabel 3. <i>Tuning Ziegler-Nichols metode ke-2</i>	6
Tabel 4. Deskripsi Desain 3D Mekanikal.....	13
Tabel 5. Rumus Periode Kritisal.....	40
Tabel 6. Pembacaan Tekanan pada Tangki 1.....	47
Tabel 7. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 1	48
Tabel 8. Pembacaan Tekanan pada Tangki 2.....	49
Tabel 9. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 2	50
Tabel 10. Pembacaan Tekanan pada Tangki 3	51
Tabel 11. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 3	52
Tabel 12. Pembacaan Tekanan pada Tangki 4.....	53
Tabel 13. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 4	54
Tabel 14. Hasil Pengujian Efisiensi Waktu`	63
Tabel 15. Deviasi, Ketidakpastian dan % Error dari masing-masing ketinggian air	69

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sistem otomatisasi dalam industri proses seperti industri pengolahan air yang melibatkan suatu cairan disimpan dalam suatu wadah kemudian akan dipompa dan dialirkan dari satu tangki ke dalam tangki lain untuk diproses. Pada skala industri, jika dilakukan secara manual akan memerlukan banyak waktu dan tenaga yang berpotensi meningkatkan *human error*, pemutaran *valve* dilakukan ketika hendak memindahkan cairan dari satu tangki ke tangki lain, dan *valve* diputar kembali untuk menghentikan aliran cairan ketika level cairan pada tangki sudah sesuai dengan yang diinginkan.

Ketika kontrol dilakukan secara manual, ada kemungkinan pemutaran *valve* akan terlambat atau sehingga dapat menyebabkan level yang berlebihan atau terlalu cepat sehingga level cairan menjadi kurang. Kesalahan tersebut dapat meningkat ketika jarak antar tangki semakin saling berjauhan

Melihat permasalahan tersebut, pada proyek ini dikembangkan sistem *couple tank* dengan pemanfaatan teknologi otomatisasi dan IoT. Project ini diberi judul, "Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT". Pada proyek ini, *couple tank* akan menggunakan servo *valve* untuk mengatur aliran cairan. Servo *valve* dikontrol melalui PLC yang sudah diprogram. Pembacaan level tangki menggunakan pressure sensor yang melalui regresi dengan PID *controller*. PLC akan dihubungkan ke HMI yang sudah diprogram. Melalui HMI, kita dapat mengendalikan servo valve dan melihat level cairan tangki secara real-time.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengontrol ketinggian air sesuai dengan *set-point* yang diinginkan menggunakan sistem kontrol PID?
2. Bagaimana cara memonitoring dan mengontrol *plant* dari jarak jauh secara *real-time*?

1.3. Tujuan

Ada beberapa tujuan yang akan difokuskan, sebagai berikut:

1. Untuk mempermudah *monitoring* dan kontrol sebuah *plant* proses secara *real-time*
2. Mengimplementasikan sistem SCADA pada sebuah *plant* proses
3. Membuat *plant* proses yang mengontrol ketinggian air menggunakan servo valve

1.4. Manfaat

Proyek ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi di dunia pendidikan sebagai simulator/modul pembelajaran untuk mempresentasikan kebutuhan industri serta sebagai referensi agar pelajar ataupun mahasiswa dapat lebih mengenal dunia industri sehingga lebih cepat beradaptasi ketika nanti telah memasuki dunia kerja. Proyek ini juga diharapkan bermanfaat dalam membantu dan memudahkan pengguna untuk mengontrol dan memonitor suatu *plant*, serta mempersingkat waktu dan mengurangi kesalahan pada *monitoring* dan kontrol serta *troubleshooting*.

1.5. Batasan

Permasalahan yang dibahas terbatas pada beberapa pembatasan masalah berikut ini.

1. Keluaran yang dikendalikan adalah ketinggian air.
2. Ketinggian tangki air maksimal adalah 40 cm.
3. Hanya dapat mengontrol sebanyak 4 buah tangki.
4. Selisih pembacaan ketinggian menggunakan sistem terhadap meteran yaitu sebesar 2 cm.
5. Metode *tuning* PID yang digunakan adalah metode Ziegler-Nichols orde 2.
6. Debit air yang masuk dari pompa lebih banyak daripada debit air yang keluar pada keluaran tangki.

1.6. Work Breakdown Structure

Tabel 1. Work Breakdown Structure

No	Nama	Tugas dan Tanggung Jawab dalam Tim
1	Maulana Ibrahim	Perancangan Kontrol Proportional Integral Derivative (PID) Menggunakan Metode Ziegler-Nichols pada Sistem Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis PLC Omron : <ul style="list-style-type: none">- Manajemen tim- Perancangan sistem elektrikal- Pembuatan sistem kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols- Perancangan dan pemrograman HMI- Pengujian sistem dan evaluasi
2	Muhammad Zulkifli	Pemrograman Kontrol PLC Omron pada Plant Couple Tank Berbasis IoT : <ul style="list-style-type: none">- Pemrograman PLC- Perancangan mekanikal produk- Pengujian sistem dan evaluasi
3	Diki Wahyudi	Sistem Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT Menggunakan PLC dan HMI Omron : <ul style="list-style-type: none">- Perancangan sistem IoT- Perakitan sistem elektrikal dan mekanikal- Pengujian sistem dan evaluasi

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sistem Kontrol

Sistem kontrol PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. Selain itu sistem ini mudah digabungkan dengan metoda pengaturan yang lain seperti Fuzzy dan Robust. Sehingga akan menjadi suatu sistem pengatur yang semakin baik. Tulisan ini dibatasi pada sistem dengan Unity Feedback System.

PID *Controller* sebenarnya terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (*Proportional*) *Controller*, D (*Derivative*) *Controller*, dan I (*Integral*) *Controller*. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai konstanta. Pengendali PID adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional, integral, dan turunan (derivative). Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran pengendali PID dirumuskan sebagai:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

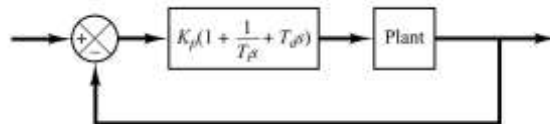
dengan

- $u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PID
- K_p = konstanta proporsional
- T_i = waktu integral
- T_d = waktu turunan
- K_i = konstanta integral
- K_d = konstanta turunan
- $e(t)$ = sinyal kesalahan

Jadi, fungsi alih pengendali PID (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar berikut.

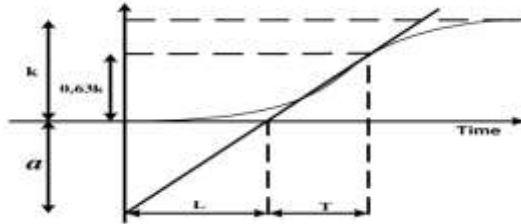


Gambar 1. Diagram blok pengendali PID

Penalaan (*tuning*) pengendali PID adalah mencari nilai K_p , K_i , dan K_d . Ada beberapa metode *tuning* yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols. Metode dasar *tuning* Ziegler-Nichols dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

a. Orde 1 Ziegler-Nichols

Metode 1 didasarkan pada respon *plant* terhadap masukan step dalam open loop. *Plant* yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S pada Gambar 2. Kurva tanggapan *plant* digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T .



Gambar 2. Kurva respon berbentuk S

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Ziegler-Nichols. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 1.

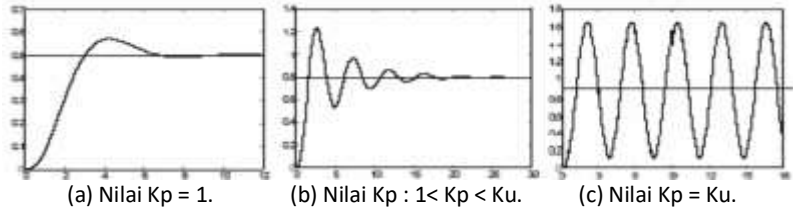
Tabel 2. Tuning Ziegler-Nichols metode ke-1

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

b. Orde 2 Ziegler-Nichols

Pada metode ke-2, *tuning* dilakukan dalam *close-loop* dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi *step*. Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional. K_p dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis K_p , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitude yang sama. Nilai kritis K_p ini disebut sebagai *ultimated gain*.

Respon keluaran yang dihasilkan pada 3 kondisi penguatan proporsional ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem dapat berosilasi dengan stabil pada saat $K_p = K_u$.



Gambar 3. Karakteristik keluaran suatu sistem dengan penambahan K_p .

Nilai *ultimate period*, T_u , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus-menerus berosilasi. Nilai perioda dasar (T_u), dan penguatan dasar (K_u), digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta pengendali sesuai dengan tabel berikut.

Tabel 3. Tuning Ziegler-Nichols metode ke-2

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

Rise time, settling time, dan overshoot adalah parameter kinerja yang digunakan untuk mengevaluasi respon sistem kendali pada suatu sistem otomatis. Parameter ini memberikan gambaran tentang seberapa cepat sistem merespon, seberapa cepat sistem mencapai nilai setpoint, dan seberapa besar deviasi dari nilai setpoint sebelum mencapai stabilitas.

1. Rise Time

Rise time adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai nilai setpoint dari nilai awal ketika sinyal kontrol berubah. Secara lebih spesifik, rise time diukur sebagai waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai dari 10% hingga 90% dari nilai setpoint. Semakin cepat sistem mencapai nilai setpoint yang diinginkan, semakin baik respon sistemnya. Besarnya nilai waktu naik dinyatakan pada persamaan berikut:

$$t_r = \frac{1}{\omega^n \sqrt{1 - \zeta^2}} \left(\pi - \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta} \right)$$

2. Settling Time

Settling time adalah waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai dan tetap berada dalam kisaran toleransi tertentu dari nilai setpoint. Toleransi ini biasanya didefinisikan sebagai persentase tertentu dari saat sistem mencapai nilai setpoint (misalnya 1%, 2%, atau 5%). Settling time diukur dari saat sistem mencapai nilai setpoint hingga mencapai toleransi yang ditentukan. Semakin pendek settling time, semakin cepat sistem mencapai stabilitas dan semakin baik sistemnya dalam mencapai nilai yang diinginkan. Waktu tunak adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 5\%$, atau $\pm 2\%$, atau $\pm 0.5\%$ dari keadaan steady state, dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$t_s(\pm 5\%) = \frac{3}{\zeta\omega_n} \quad t_s(\pm 2\%) = \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad t_s(\pm 0.5\%) = \frac{5}{\zeta\omega_n}$$

3. Overshoot

Overshoot adalah deviasi maksimum dari nilai output sistem melebihi nilai setpoint sebelum mencapai stabilitas. Ini terjadi ketika sistem melewati nilai setpoint sebelum Kembali menuju nilai yang diinginkan. Overshoot diukur sebagai persentase dari nilai setpoint. Terlalu besar overshoot dapat menyebabkan osilasi dan ketidakstabilan dalam sistem, sementara overshoot yang terlalu kecil dapat mengakibatkan waktu yang lebih lama untuk mencapai stabilitas.

2.2. *Internet of Things (IoT)*

Untuk IoT pada plant couple tank menggunakan NB Web Interface. NB Web Interface memungkinkan pengguna untuk mengakses HMI couple tank menggunakan web pada komputer atau handphone. Terdapat 2 opsi pilihan untuk menggunakan web interface, yaitu *monitoring* dan *operation*.

Secara umum IoT dapat diartikan sebagai teknologi yang dapat menghubungkan perangkat komunikasi digital untuk mengirimkan data atau informasi menggunakan koneksi internet. Dengan adanya sistem IoT memungkinkan manusia untuk dapat mengontrol perangkat komunikasi digital dari jarak jauh. Konsep IoT adalah memanfaatkan jaringan internet yang terhubung terus menerus untuk pengambilan data, berbagi informasi, dan masih banyak lagi untuk memudahkan manusia dalam melakukan berbagai aktivitas. Mengenai jaringan sensor nirkabel, nilai yang diterima setiap perangkat dapat diakses oleh berbagai pihak yang terhubung ke jaringan internet (Faisal Ahmad, 2022).

2.3. *Tampilan Antarmuka*

Tampilan interface pada couple tank menggunakan *Human Machine Interface (HMI)*. HMI merupakan sebuah sarana penghubung dan media komunikasi antara mesin dengan manusia. Tugas HMI adalah membuat tampilan atau visualisasi dari sebuah teknologi atau plan sistem yang akan dikontrol dan

dimonitor secara *real-time*. Tujuan dari HMI adalah untuk menambah tingkat interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan yang ada dilayar dan memenuhi kebutuhan para pengguna terhadap informasi pada sistem. HMI yang digunakan adalah HMI OMRON tipe NB10W-TW01B. Untuk pemrograman antarmuka menggunakan *software* NB-Designer (Ahmad Ridwan, 2021).

2.4. SCADA

Sistem SCADA merupakan singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition*. Dari segi bahasa berarti pengawasan atau pemantauan kontrol terhadap pengiriman dan penerimaan data pada suatu sistem tenaga listrik baik pada sisi pembangkit, transmisi maupun distribusi. Adanya sistem SCADA memudahkan operator untuk memantau keseluruhan jaringan tanpa harus melihat langsung ke lapangan. Sistem SCADA sangat dirasakan manfaatnya terutama pada saat pemeliharaan dan saat penormalan bila terjadi gangguan. Jadi secara umum SCADA adalah suatu sistem yang dapat mendeteksi secara segera dari suatu pusat kontrol apabila di suatu tempat terjadi gangguan yang berakibat pemadaman secara otomatis dengan berfungsi sebagai suatu remot kontrol. Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, namun harus didukung oleh berbagai macam infrastruktur seperti telekomunikasi, master station, remote terminal unit, dan protokol komunikasi (Afizhan Ghifari, 2022).

2.5. Kontroler

Couple tank menggunakan kontroler PLC (*Programmable Logic Controller*) adalah perangkat elektronik yang bekerja dalam mode digital. PLC menggunakan memori yang dapat di program untuk menyimpan instruksi internal untuk fungsi tertentu (seperti logika, urutan, pewaktuan, pencacahan, dan aritmatika) untuk mengontrol *input* atau *output* digital atau analog. PLC merupakan perangkat berbasis mikroprosesor yang khusus digunakan untuk menggantikan rangkaian logika dan aplikasi lainnya, dan juga dirancang untuk berbagi aplikasi yang berkaitan dengan sensor industri. PLC (*Programmable Logic Controller*) memiliki perangkat input yang disebut sensor, perangkat output, dan pengontrol. PLC memiliki I/O yang akan dihubungkan langsung dengan sensor tekanan dan pompa air (Didik Purwanto Nurjan, 2023).

2.6. Sensor Tekanan

Sensor tekanan adalah sensor yang mengubah tekanan menjadi sinyal listrik kecil. Pressure sensor mendeteksi tekanan dan dapat menentukan jumlah tekanan dengan mengukur muatan listrik. Sensor tekanan bekerja menggunakan efek piezoelektrik. Piezoelektrik adalah saat suatu bahan menciptakan muatan listrik sebagai respons terhadap tekanan. Tekanan adalah ekspresi gaya yang diberikan pada permukaan per satuan luas. Tekanan biasanya dari memutar, menekuk atau getaran. Tekanan biasanya untuk mengukur tekanan cairan, udara

dan gas lainnya. Spesifikasi sensor tekanan yang digunakan pada couple tank adalah 0-10 kPa (S Yahya, 2021).

2.7. Aktuator

2.7.1. Pompa Air

Pompa air adalah komponen yang berfungsi untuk memompa air yang berasal dari tangki sumber kemudian akan dialirkan dan dibagikan ke tangki-tangki lainnya melalui pipa. Pompa air akan diletakkan di dalam tangki sumber sehingga dapat langsung menyedot air yang ada pada tangki sumber tersebut. Bagian samping pompa air berfungsi untuk menyedot air dari bawah. Bagian atas dari pompa air akan disambungkan dengan pipa-pipa yang telah terhubung dengan jalur masukan tangki-tangki (Munawar Alfansury Siregar, 2021).

2.7.2. Valve

Valve adalah perangkat mekanik yang mengontrol aliran (fluida) dan tekanan dalam suatu sistem atau proses dengan membuka, menutup, mengecilkan atau membesarkan arusnya. Valve merupakan adalah komponen penting dari sistem perpipaan yang membawa cairan, gas, uap, dan lainnya. Valve akan digunakan untuk mengontrol aliran air pada sistem couple tank dimana valve akan diletakkan pada saluran masuk dan keluar tangki (Pranda Prasetyo, 2023).

2.8. Metode Perhitungan Data Penelitian

Untuk menentukan spesifikasi sebuah alat yang dibuat, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menghitung standar deviasi. Standar deviasi merupakan ukuran sebaran yang menggambarkan standar penyimpangan atau deviasi data dari nilai rata-ratanya (Ferdiansyah, P., Indrayani, R., dan Subektiningsih, S., 2020). Perhitungan standar deviasi dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_n - \bar{x}_n)^2}{n - 1}}$$

Dimana :

S = Standar Deviasi

x_n = Nilai hasil pengukuran

\bar{x}_n = Nilai rata-rata hasil pengukuran

n = Banyaknya data

Setelah standar deviasi diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung ketidakpastian suatu alat. Ketidakpastian adalah perkiraan atau estimasi rentang nilai pengukuran di mana nilai sebenarnya dari objek yang diukur berada. Perhitungan ketidakpastian ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\text{Ketidakpastian} = \frac{\text{Standar Deviasi}}{\sqrt{n}}$$

Setelah nilai standar deviasi dan ketidakpastian diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung besarnya error pengukuran. Error pengukuran adalah deviasi nilai pengukuran dari nilai sebenarnya, dan dapat dinyatakan dalam bentuk persentase error. Perhitungan persentase error ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\% \text{ Error} = \left(\frac{yn - xn}{yn} \right) \times 100\%$$

Dimana :

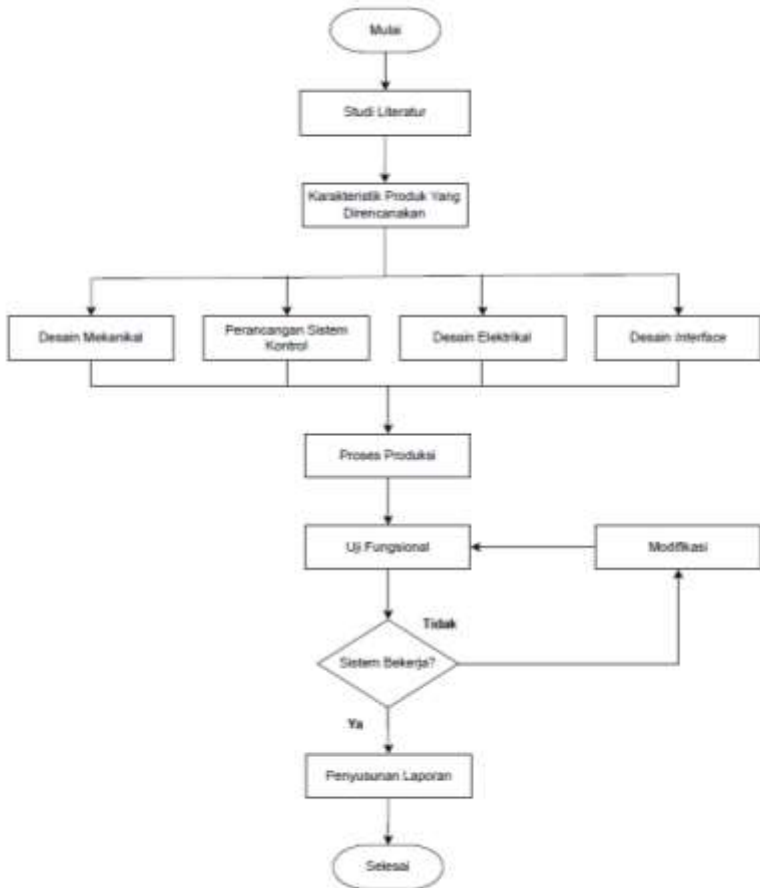
$\% \text{ Error}$ = Persentase Kesalahan

yn = Nilai Sebenarnya

xn = Nilai Terukur

Bab 3. Metode Pelaksanaan

Proses pelaksanaan pembuatan proyek dimulai dari studi literatur. Kemudian dilanjutkan dengan merancang dan membangun sistem elektrikal, mekanikal, program dan *interface*. Pengujian dilakukan setelah proses produksi selesai. Dapat dilihat pada Gambar 1 yang menjelaskan secara umum urutan pelaksanaan kegiatan program.



Gambar 4. Diagram Alir Proses Pelaksanaan Proyek

3.1. Studi Literatur

Dalam proses pembuatan proyek ini, mencari referensi terkait terlebih dahulu. Referensi tersebut dapat dilihat dan diambil dari berbagai sumber-sumber yang berhubungan seperti skripsi, tesis, buku referensi, artikel jurnal ilmiah ataupun internet, brosur, media cetak dan sumber - sumber informasi lainnya.

3.2. Karakteristik Spesifikasi Produk

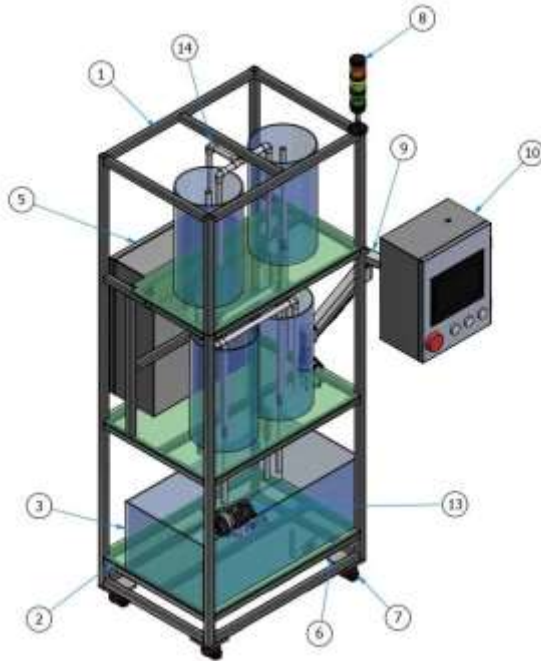
Adapun spesifikasi dari produk karya inovatif yang akan dibuat adalah sebagai berikut:

1. Kerangka menggunakan aluminium profile 30x30 mm
2. Tinggi kerangka adalah 1900 mm.
3. Lebar kerangka adalah 800 mm
4. Menggunakan 4 buah tangki silinder dengan diameter 250 mm.
5. Tinggi tangki silinder adalah 450 mm
6. PLC yang digunakan adalah PLC Omron CJ2H-CPU64-EIP
7. HMI yang digunakan adalah HMI Omron NB10W-TW01B.
8. IoT yang digunakan adalah NB Web Interface yang terhubung dengan internet.
9. Sensor tekanan yang digunakan dapat membaca tekanan dari 0 hingga 10 kPa.

3.3. Perancangan Produk

3.1.1. Perancangan Mekanikal

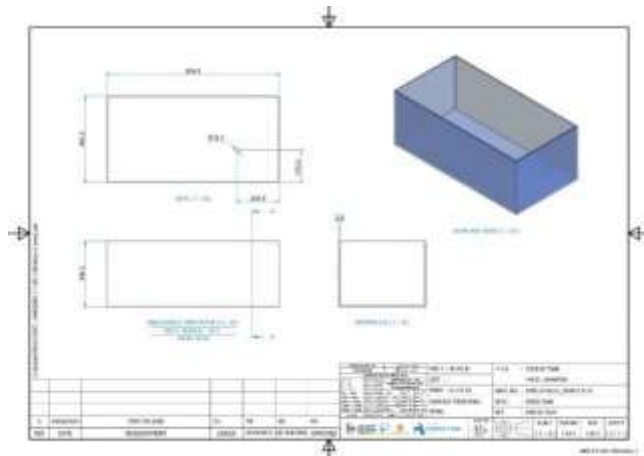
Perancangan mekanikal pada produk ini menggunakan software Solidwork Professional. Bahan yang digunakan untuk pembuatan rangka adalah aluminium profile 30x30mm, bahan aluminium profile dipilih karena mudah dalam pemasangannya melalui sistem knockdown, yang dimaksud dengan sistem knockdown adalah merakit seperti halnya bermain Lego yang hanya disambung dengan konektor yang sudah ada dan tidak perlu di las. kemudian plat baja 1mm sebagai dudukan motor servo dan valve. Serta akrilik 5mm yang digunakan untuk membuat tabung silinder dan tabung balok juga sebagai alas dudukan tabung. Menggunakan bahan akrilik dikarenakan bahan tersebut memiliki beberapa kelebihan diantaranya lebih ringan dibandingkan kaca, dan tidak mudah pecah. Menggunakan 4 buah roda agar memudahkan dalam proses pemindahan plant. Detail perancangan mekanikal dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 5. Desain 3D Mekanikal

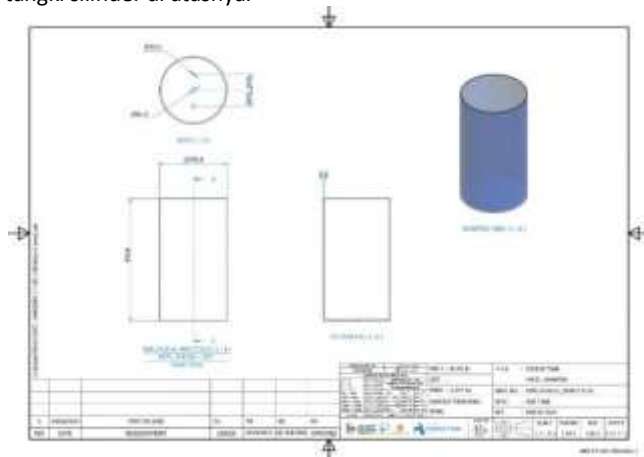
Tabel 4. Deskripsi Desain 3D Mekanikal

No Part	Deskripsi	Jumlah
1	Frame	1 buah
2	Acrylic Base Beam Tank	1 buah
3	Beam Tank	4 buah
4	Cylinder Tank	4 buah
5	Panel Listrik	1 buah
6	Base Roda	4 buah
7	Roda	4 buah
8	Tower Lamp	1 buah
9	Bracket Boks HMI	1 buah
10	Boks HMI	1 buah
11	Servo Valve	1 buah
12	Konektor Pipa 1/2"	12 buah
13	Pompa Air	1 buah
14	Pipa PVC 1/2"	1 set



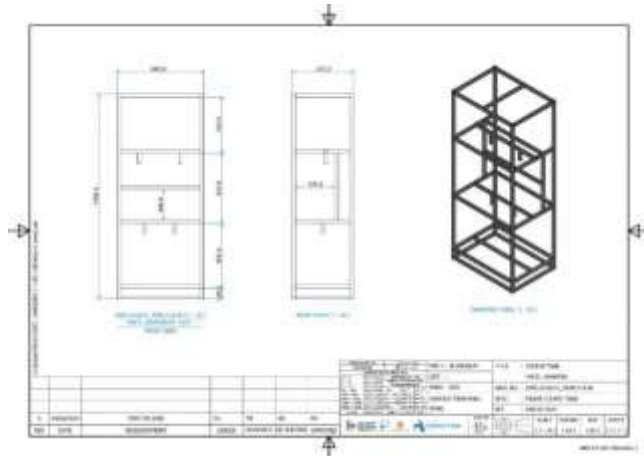
Gambar 6. Desain *Beam Tank*

Memiliki dimensi panjang 80 cm lebar 40 cm dan tinggi 30 cm, dapat menampung air dengan kapasitas sebesar 96 liter, yang digunakan untuk mengisi 4 buah tangki silinder di atasnya.



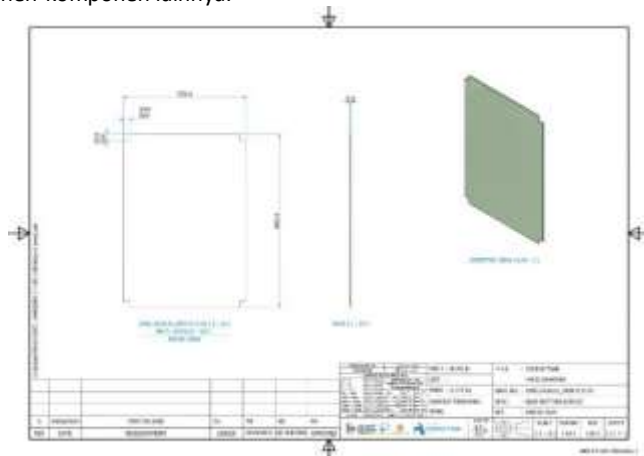
Gambar 7. Desain *Cylinder Tank*

Memiliki diameter sebesar 25 cm dengan tinggi 45 cm, dengan kapasitas penyimpanan sebesar 20 liter, digunakan sebagai tangki yang akan di kontrol level ketinggian air di dalamnya.



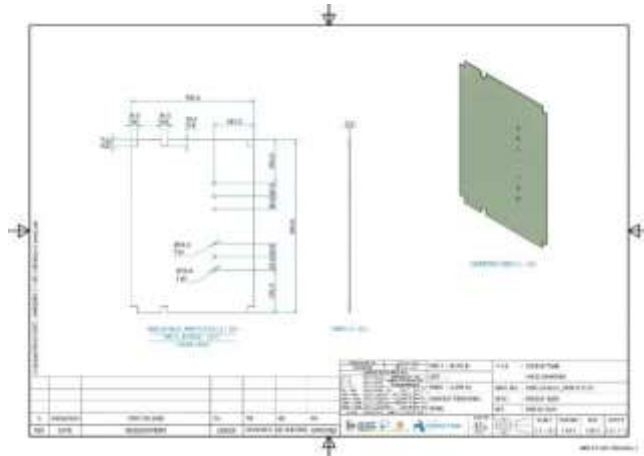
Gambar 8. Desain Framework

Memiliki dimensi Tinggi 1,9 M dan lebar 0,8 M, menggunakan material aluminium profil 30x30mm, digunakan sebagai tempat penempatan tangki dan komponen-komponen lainnya.



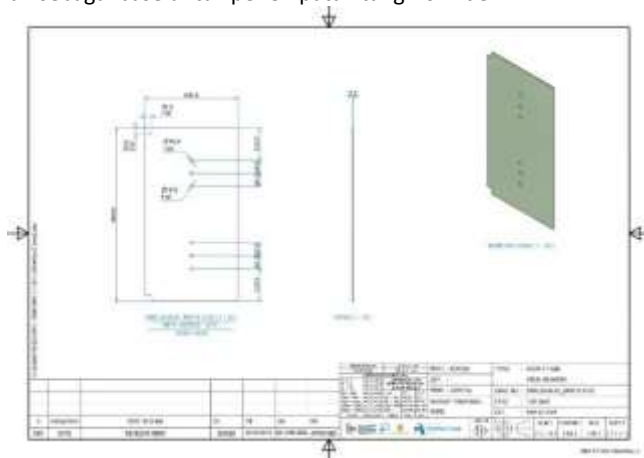
Gambar 9. Base Bottom Akrilik

Memiliki dimensi Panjang 80 cm dan lebar 57 cm dengan tebal 5 cm, digunakan sebagai base untuk penempatan tangki beam.



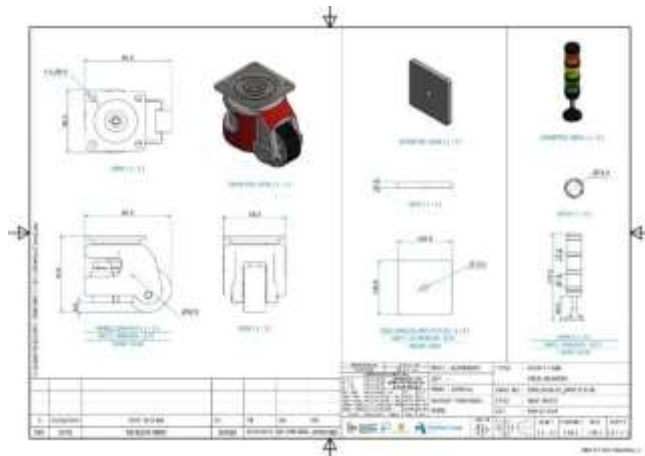
Gambar 10. Akrilik Middle Base

Memiliki dimensi Panjang 80 cm dan lebar 57 cm dengan tebal 5 cm, digunakan sebagai base untuk penempatan tangki silinder.



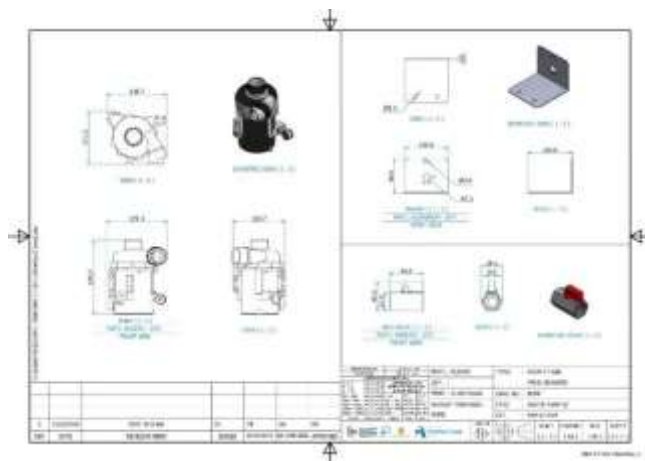
Gambar 11. Akrilik Top Base

Memiliki dimensi Panjang 80 cm dan lebar 43 cm dengan tebal 5 cm, digunakan sebagai base untuk penempatan tangki silinder.



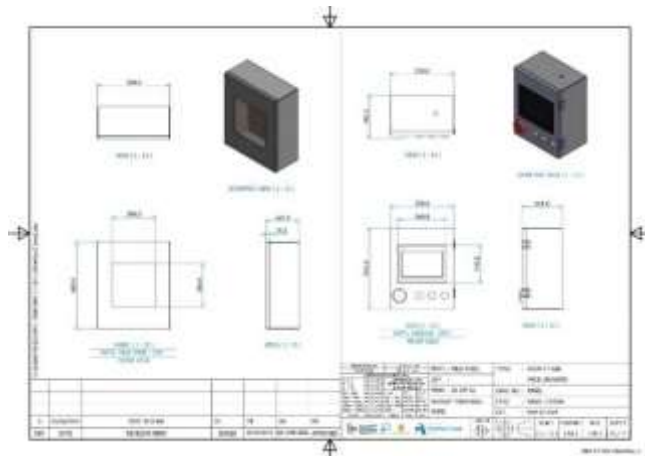
Gambar 12. Roda, Base Roda, dan Tower Lamp

Menggunakan 4 buah roda yang dipasang pada bagian bawah dari couple tank untuk memudahkan proses perpindahan, yang di pasang pada base dari roda yang berbahan aluminium dengan dimensi panjang 10 cm lebar 10 cm dan tebal 10 cm.



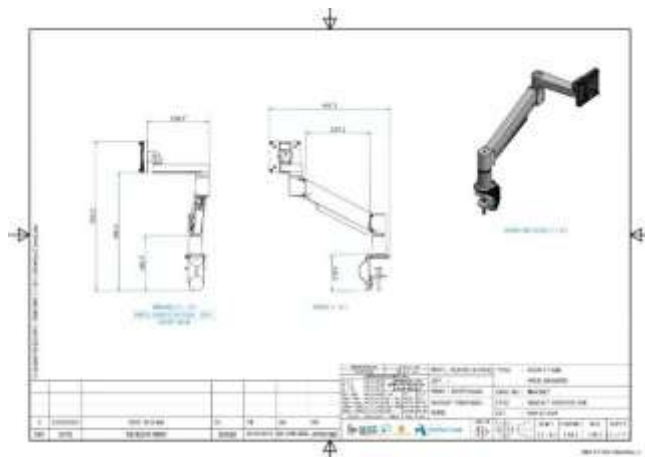
Gambar 13. Pompa Air, Bracket Valve, dan Valve

Menggunakan 1 buah pompa air DC untuk menaikkan air dari beam tank menuju 2 tangki silinder yang terletak dipaling atas dari couple tank. Serta bracket valve yang digunakan untuk memasang valve dan motor servo.



Gambar 14. Panel Elektrikal dan Kontrol Box

Menggunakan box panel elektrikal dengan dimensi panjang 60 cm dan lebar 50 cm dengan tebal 22 cm, digunakan sebagai tempat untuk meletakkan komponen-komponen elektronik. Serta kontrol box yang digunakan untuk memasang HMI.

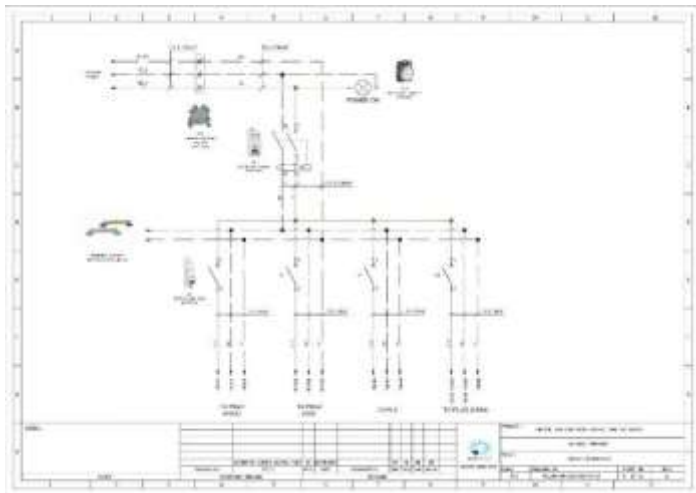


Gambar 15. Bracket Kontrol Box

Menggunakan bracket untuk memasang kontrol box.

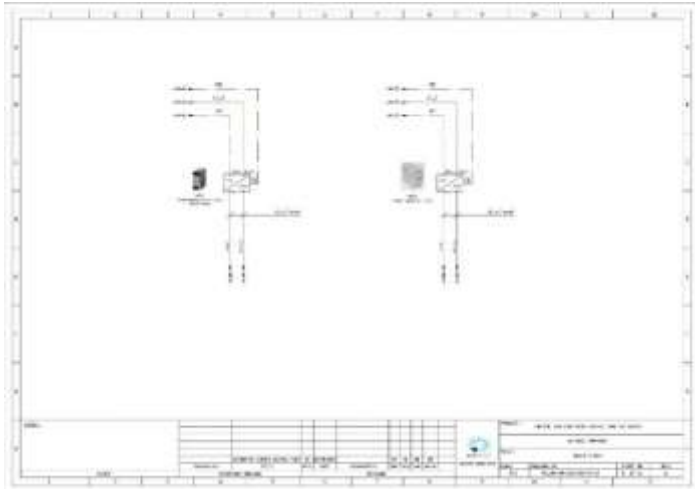
3.1.2. Perancangan Elektrikal

Pada perancangan desain elektrikal menggunakan software AutoCAD Electrical dalam merancang rangkaian power, rangkaian kontrol serta rangkaian I/O. Kemudian menggunakan PLC sebagai sumber pengendali kontroler yang akan terhubung langsung dengan laptop atau pc. Menggunakan sensor tekanan yang dihubungkan dengan analog input pada PLC dan juga akan terhubung dengan power supply yang akan memberikan tegangan sesuai spesifikasi sensor yaitu sebesar 5VDC. Pompa air akan dihubungkan dengan I/O pada PLC yang akan menerima tegangan sebesar 220VAC. Kemudian juga memberi tegangan sebesar 24VDC untuk HMI (human machine interface) NB10W-TW01B. Detail perancangan elektrikal dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 16. Desain Power Distribusi

Dari sumber arus AC 220 V dihubungkan ke MCB dan RCCB sebagai pengaman dan kemudian dihubungkan ke PSU 24 Vdc, PSU 15 Vdc, PLC , Plug dan Fan.

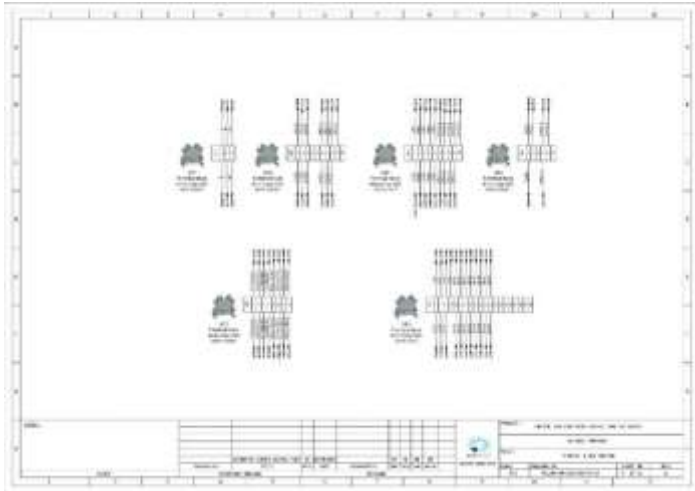


Gambar 17. Schematic Power Supply

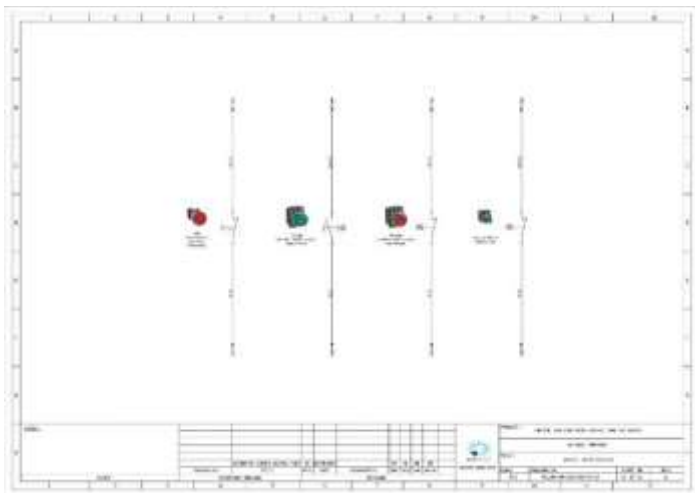


Gambar 18. Schematic PLC

Merupakan komponen gabungan dari PLC Omron CJ2H yaitu Power supply unit, CPU with ethernet and IP port, Analog input, Digital input, dan analog transistor output.

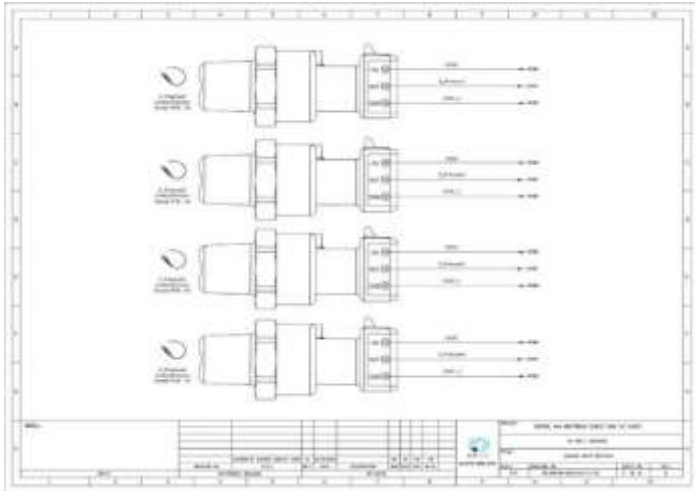


Gambar 21. Mapping Terminal Blok



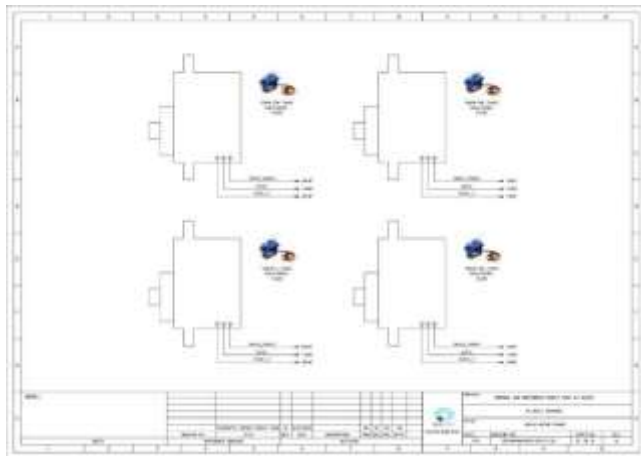
Gambar 22. Schematic Input Device

Input device akan dihubungkan pada digital input PLC Omron CJ2H.



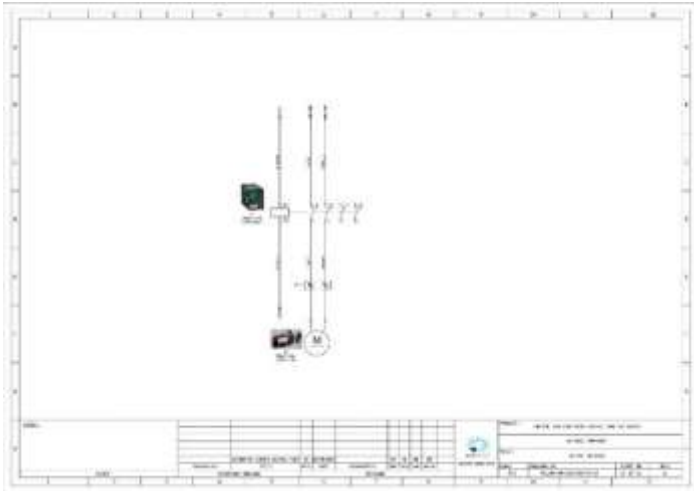
Gambar 23. Sensor Tekanan Pin Out

Terdapat 3 kabel pada sensor tekanan yaitu kabel VCC, kabel data sensor, serta kabel ground.

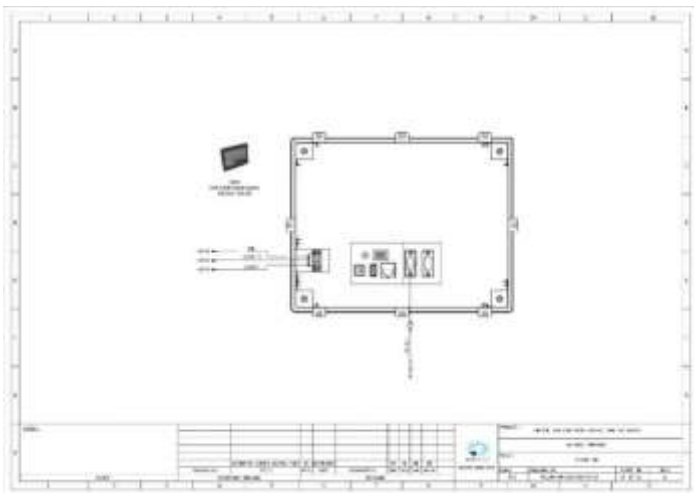


Gambar 24. Motor Servo Pin Out

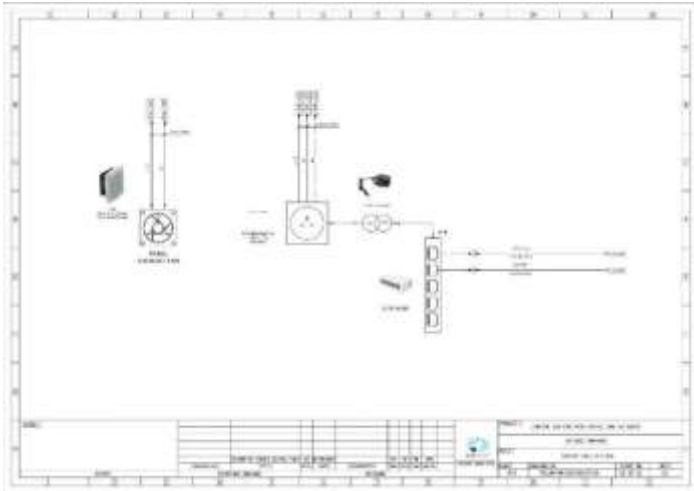
Terdapat 3 kabel pada motor servo yaitu kabel VCC, kabel ground, serta kabel data PWM.



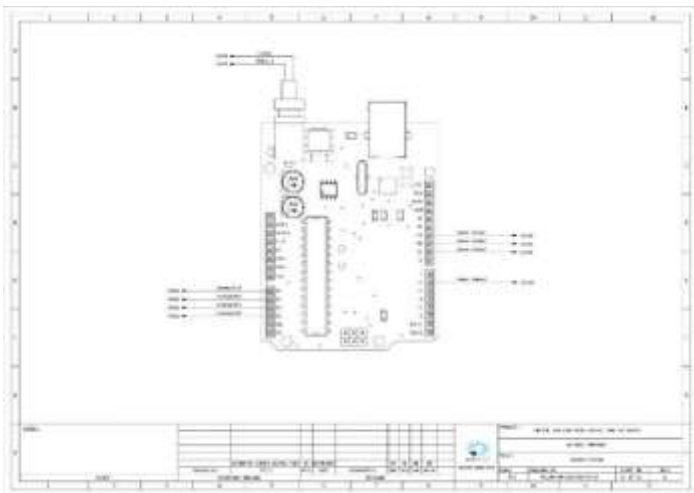
Gambar 25. Schematic Output Device



Gambar 26. Power HMI



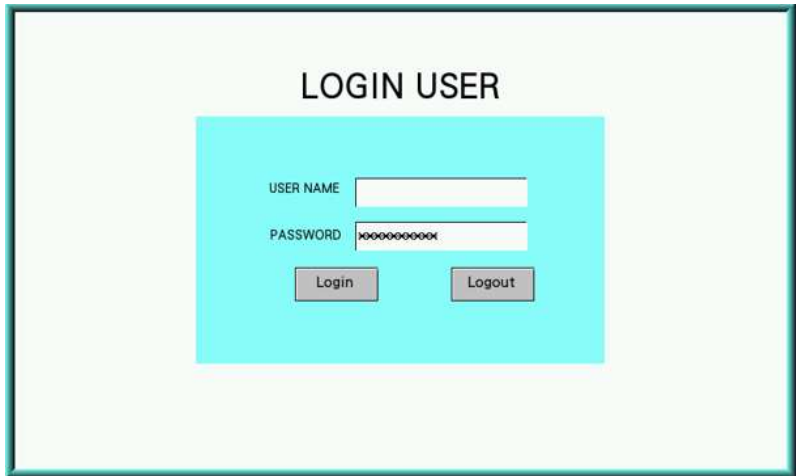
Gambar 27. Kipas dan Ethernet Hub



Gambar 28. Mapping I/O Arduino UNO

3.1.2. Perancangan *Interface*

Untuk pembuatan program PLC (*Programmable Logic Controller*) Menggunakan CX-Programmer sebagai pengendali plant dan pembuatan *interface* HMI (*Human Machine Interface*) menggunakan NB-Designer. *Software* NB-Designer menyediakan tampilan atau gambar yang cukup lengkap untuk alat-alat yang dibutuhkan dalam sistem plan project dan juga kita bisa memasukkan gambar sendiri agar lebih menarik dan lebih terlihat realistis. Pada proses perancangan ini juga terdapat proses penyesuaian alamat pemrograman yang telah dibuat pada CX-Programmer dan dihubungkan langsung dengan PLC. Detail perancangan interface dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 29. *Login User*

Tampilan halaman yang digunakan untuk memasukkan akun dari sistem yang digunakan.



Gambar 30. Menu Utama

Pada menu utama terdapat tampilan dari 4 buah tangki serta valve dari tiap-tiap tangki, pada masing-masing gambar dapat disentuh untuk memunculkan informasi lebih lanjut mengenai pengontrolan ataupun pembacaan pada level tangki.



Gambar 31. Monitor Status Input

Halaman tampilan untuk menunjukkan status dari perangkat input pada plant couple tank.



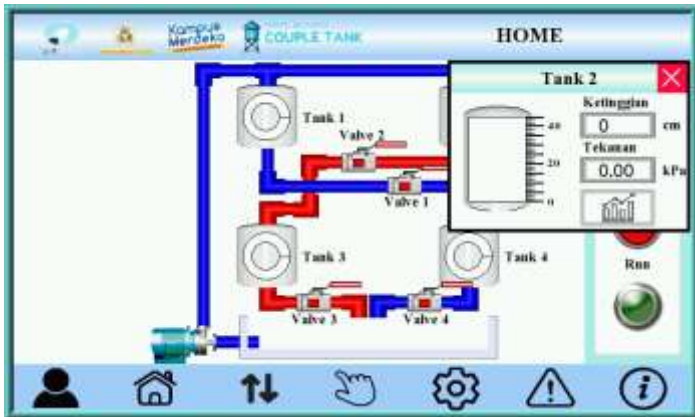
Gambar 32. Kontrol Manual Mode

Halaman tampilan untuk menjalankan sistem secara manual juga untuk mengontrol masing-masing valve dari tiap-tiap tangki.



Gambar 33. Tampilan Detail Tangki 1

Ketika gambar dari tangki 1 ditekan maka akan muncul jendela tampilan yang menampilkan informasi dari ketinggian tangki dalam cm dan informasi dari tekanan dalam kPa. Juga dapat memunculkan grafik dari masing-masing pembacaan.



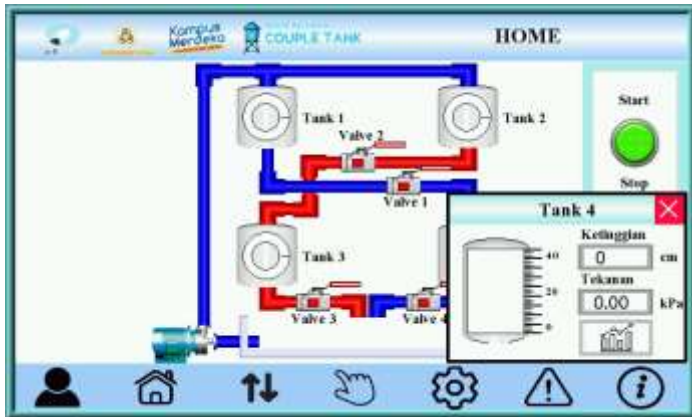
Gambar 34. Tampilan Detal Tangki 2

Ketika gambar dari tangki 2 ditekan maka akan muncul jendela tampilan yang menampilkan informasi dari ketinggian tangki dalam cm dan informasi dari tekanan dalam kPa. Juga dapat memunculkan grafik dari masing-masing pembacaan.



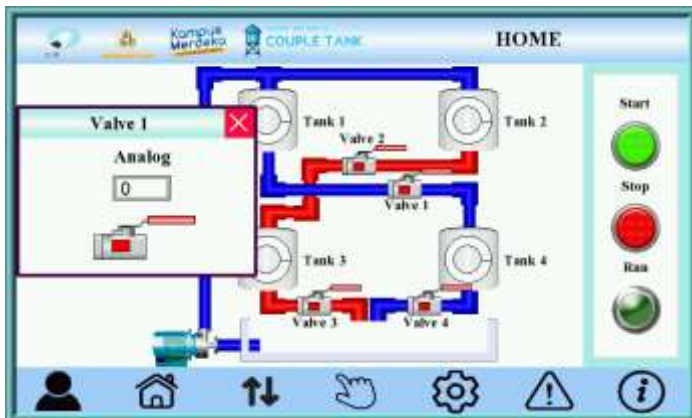
Gambar 35. Tampilan Detail Tangki 3

Ketika gambar dari tangki 3 ditekan maka akan muncul jendela tampilan yang menampilkan informasi dari ketinggian tangki dalam cm dan informasi dari tekanan dalam kPa. Juga dapat memunculkan grafik dari masing-masing pembacaan.



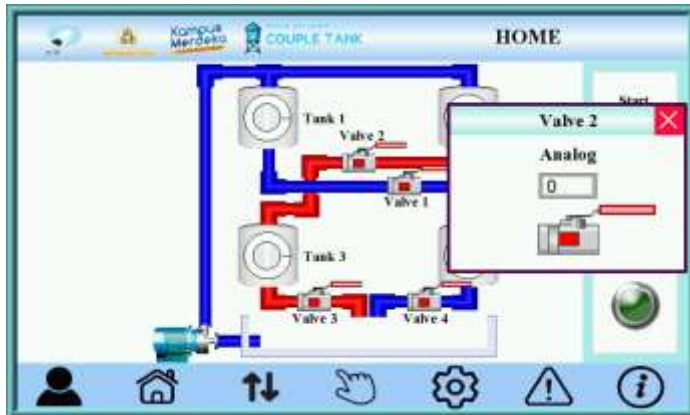
Gambar 36. Tampilan Detail Tampilan Tangki 4

Ketika gambar dari tangki 4 ditekan maka akan muncul jendela tampilan yang menampilkan informasi dari ketinggian tangki dalam cm dan informasi dari tekanan dalam kPa. Juga dapat memunculkan grafik dari masing-masing pembacaan.



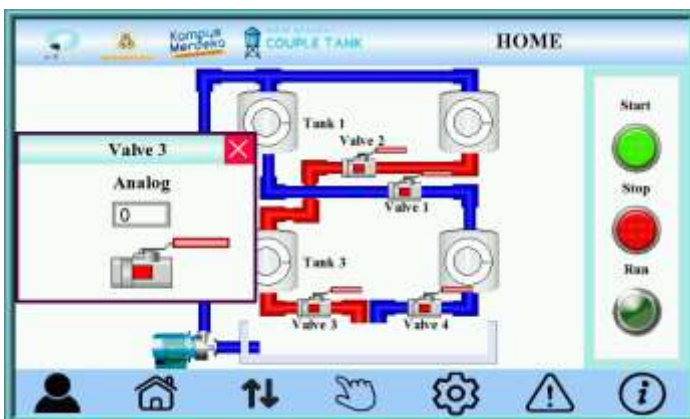
Gambar 37. Tampilan Detail Valve 1

Tampilan halaman untuk menunjukkan besar dari pembukaan valve pada tangki 1 ketika gambar dari valve 1 ditekan.



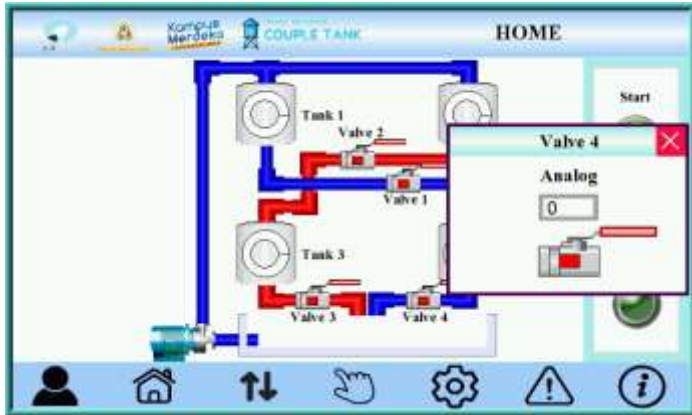
Gambar 38. Tampilan Detail Valve 2

Tampilan halaman untuk menunjukkan besar dari pembukaan valve pada tangki 2 ketika gambar dari valve 2 ditekan.



Gambar 39. Tampilan Detail Tangki 3

Tampilan halaman untuk menunjukkan besar dari pembukaan valve pada tangki 3 ketika gambar dari valve 3 ditekan.



Gambar 40. Tampilan Detail Tangki 4

Tampilan halaman untuk menunjukkan besar dari pembukaan valve pada tangki 4 ketika gambar dari valve 4 ditekan.



Gambar 41. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 1

Tampilan halaman grafik dari pembacaan tekanan sensor pada tangki 1 dalam satuan kPa.



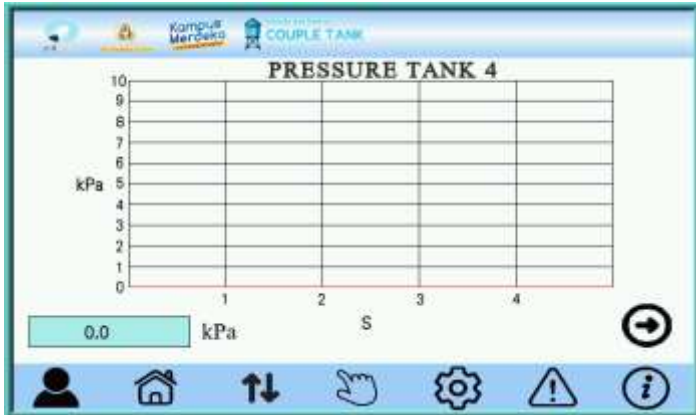
Gambar 42. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 2

Tampilan halaman grafik dari pembacaan tekanan sensor pada tangki 2 dalam satuan kPa.



Gambar 43. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 3

Tampilan halaman grafik dari pembacaan tekanan sensor pada tangki 3 dalam satuan kPa.



Gambar 44. Tampilan Grafik Nilai Tekanan Tangki 4

Tampilan halaman grafik dari pembacaan tekanan sensor pada tangki 4 dalam satuan kPa.



Gambar 45. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 1

Tampilan halaman grafik dari pembacaan level ketinggian pada tangki 1 dalam satuan cm.



Gambar 46. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 2

Tampilan halaman grafik dari pembacaan level ketinggian pada tangki 2 dalam satuan cm.



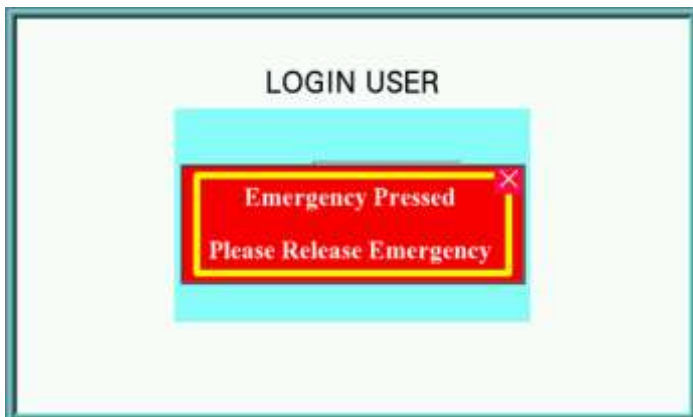
Gambar 47. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 3

Tampilan halaman grafik dari pembacaan level ketinggian pada tangki 3 dalam satuan cm.



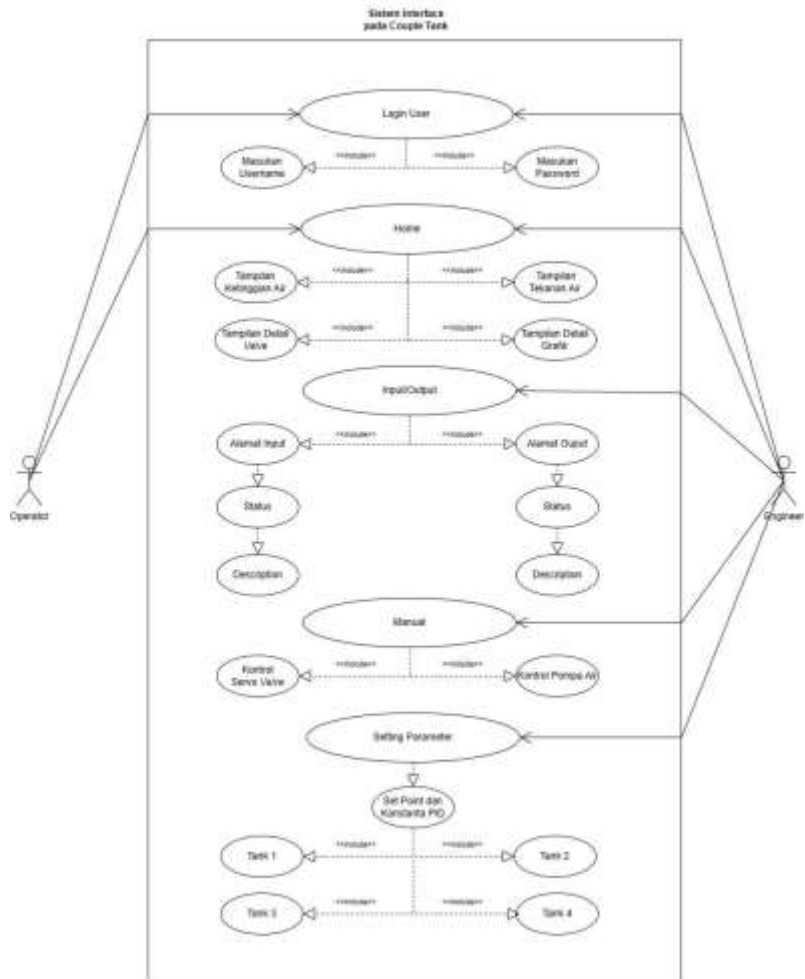
Gambar 48. Tampilan Grafik Nilai Level Air Tangki 4

Tampilan halaman grafik dari pembacaan level ketinggian pada tangki 4 dalam satuan cm.



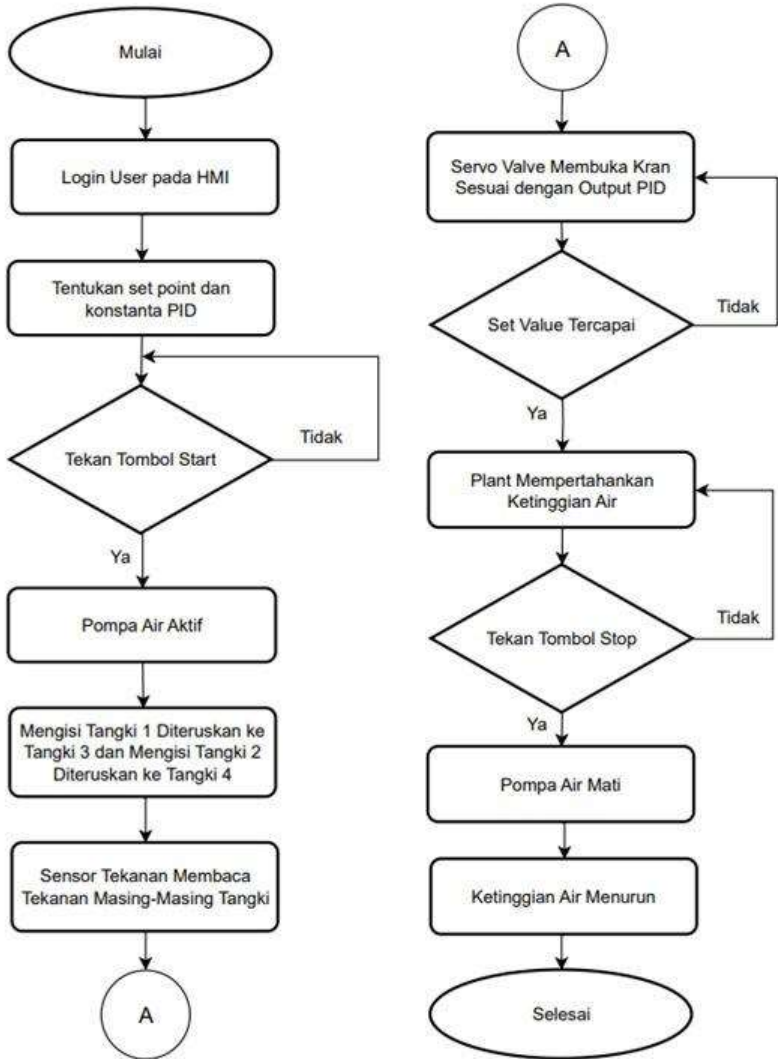
Gambar 49. Tampilan Ketika Tombol *Emergency* Ditekan

Tampilan jika tombol emergency ditekan maka halaman diatas akan muncul sebagai peringatan adanya bahaya yang terjadi pada sistem.



Gambar 50. Diagram Use Case Interface

Diagram use case di atas membagi batasan yang dapat dilakukan oleh operator atau *engineer* terhadap penggunaan dari sistem, operator hanya dapat mengakses halaman login dan *home*, sementara *engineer* dapat mengakses semua halaman yang terdapat pada sistem.

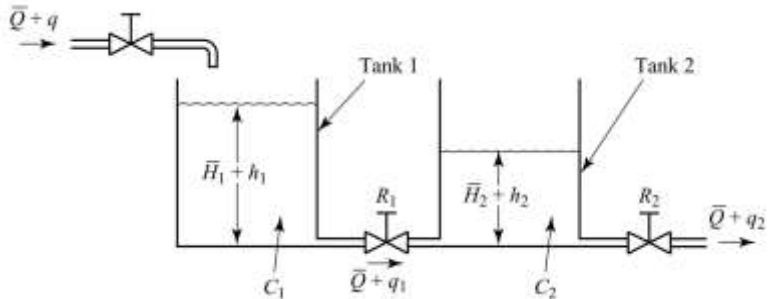


Gambar 51. Diagram Alir Sistem

Langkah-langkah yang menjelaskan proses dari bekerjanya sistem couple untuk mengontrol level ketinggian pada masing-masing tangki.

3.3. Pengujian

Dalam sistem ini, kedua tangki berinteraksi. Jadi fungsi transfer sistem bukanlah hasil kali dua fungsi transfer orde pertama. Berikut ini, kita hanya akan mengasumsikan sedikit variasi variabel dari nilai kondisi tunak.



Gambar 52. Liquid Level System with Interaction

- \bar{Q} : Steady-state flow rate
- \bar{H}_1 : Steady-state liquid level of tank 1
- \bar{H}_2 : Steady-state liquid level of tank 2

Dengan menggunakan simbol-simbol seperti yang didefinisikan pada Gambar 52, kita dapat memperoleh persamaan berikut untuk sistem ini:

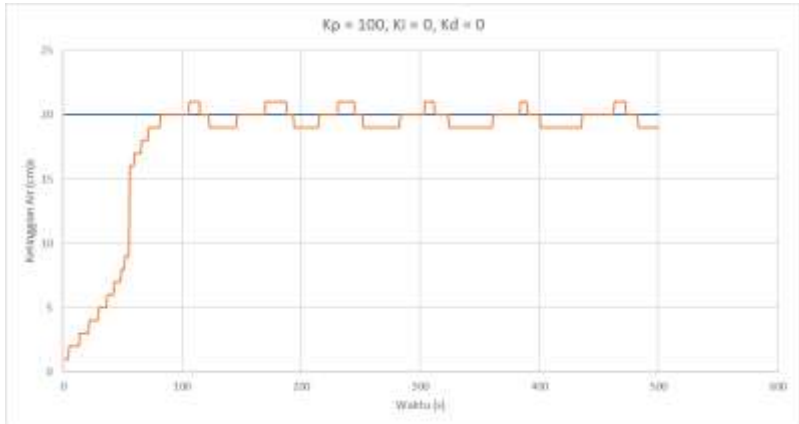
$$\begin{aligned} \frac{h_1 - h_2}{R_1} &= q_1 \\ C_1 \frac{dh_1}{dt} &= q - q_1 \\ \frac{h_2}{R_2} &= q_2 \\ C_2 \frac{dh_2}{dt} &= q_1 - q_2 \end{aligned}$$

Jika q dianggap sebagai masukan dan q_2 sebagai keluaran, maka fungsi alih sistem adalah

$$\frac{Q_2(s)}{Q(s)} = \frac{1}{R_1 C_1 R_2 C_2 s^2 + (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_2 C_1) s + 1}$$

Pada pengujian ini, kami melakukan *tuning* PID menggunakan metode *tuning* Ziegler-Nichols orde 2. Prosedur yang dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols II:

1. Atur nilai Ki dan Kd menjadi 0.
2. Tambahkan nilai Kp dan temukan *critical value* (K_{cr}) sehingga keluaran sistem berosilasi.



Gambar 53. Nilai Keluaran yang Berosilasi

3. Tentukan Periode Kritisal dari keluaran.

$$P_{cr} = \frac{t}{n}$$

Dimana :

P : Periode (s)

t : Waktu Tempuh Gelombang (s)

n : Banyaknya Gelombang

$$P_{cr} = \frac{500}{6}$$

$$P_{cr} = 83$$

4. Lakukan kalkulasi untuk mendapatkan nilai T_i dan T_d .

Tabel 5. Rumus Periode Kritisal

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 \times K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45 \times K_{cr}$	$\frac{1}{1,2} \times P_{cr}$	0
PID	$0,6 \times K_{cr}$	$0,5 \times P_{cr}$	$0,125 \times P_{cr}$

5. Untuk mengubah T_i dan T_d menjadi K_i dan K_d

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_i = \frac{100}{42}$$

$$K_i = 2$$

$$K_d = K_p \times T_d$$

$$K_d = 100 \times 10$$

$$K_d = 1000$$

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Dalam tahap ini, kami akan menyajikan hasil dari alat monitor dan kontrol *couple tank* berbasis IoT yang telah dirangkum dalam penjelasan dibawah ini.

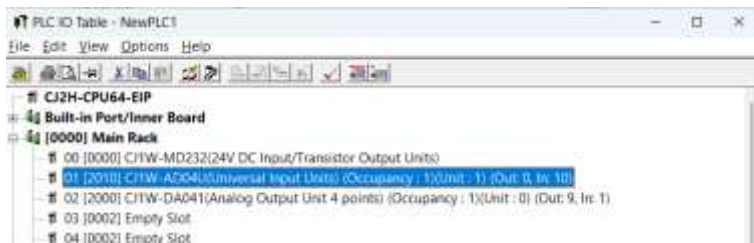
4.1.1. Akuisisi Data Sensor Tekanan

Akuisisi data *pressure transmitter* dilakukan dengan menggunakan PLC Omron CJ2H dengan *analog input expansion* CJ1W-AD04U. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah ladder diagram pada software CX-Programmer. Tegangan output pressure transmitter terhubung ke *analog input expansion* CJ1W-AD04U, pada alamat CH 2011, 2012, 2013, dan 2014 seperti yang tampil pada wiring diagram gambar 19. Pengaturan *analog input expansion* CJ1W-AD041U pada software CX-Programmer terletak pada menu *IO Table and Unit Setup* seperti pada gambar 54.

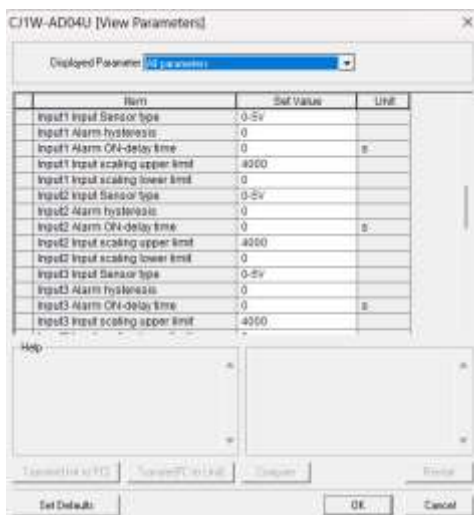


Gambar 54. Menu *IO Table and Unit Setup*

Kemudian pada menu tersebut tambahkan terlebih dahulu *expansion* yang digunakan sesuai yang terpasang pada CPU PLC. *Double click* pada *analog input expansion* CJ1W-AD04U untuk memunculkan halaman konfigurasi parameter yang berupa pengaturan tegangan input 0-5 Vdc sesuai dengan spesifikasi *pressure transmitter*, pengaturan lain adalah resolusi dengan nilai 4000_(Desimal).



Gambar 55. *PLC IO Table*



Gambar 56. Halaman Konfigurasi Parameter Analog Input Expansion CJ1W-AD04U

Dalam desain pemrograman, digunakan fungsi scaling SCL (194). Fungsi SCL (194) berfungsi untuk mengonversi nilai *unsigned binary* menjadi *unsigned BCD* berdasarkan persamaan linier. Dalam penelitian ini, proses pengolahan data linier digunakan untuk mengonversi nilai tegangan keluaran dari *pressure transmitter* menjadi nilai tekanan. Fungsi SCL (194) yang dijelaskan dalam manual pemrograman PLC CP1H [11] menggunakan Persamaan (1, 2).

$$Slope = B_d - \frac{(B_d - A_d)}{BCD \text{ Conversion of } (B_s - A_s)} \dots\dots\dots(1)$$

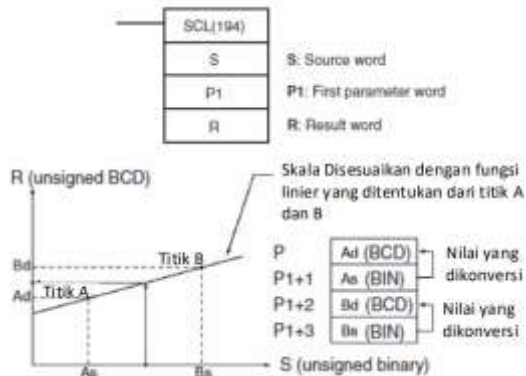
$$R = Slope \times BCD \text{ Conversion of } (B_s - S) \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

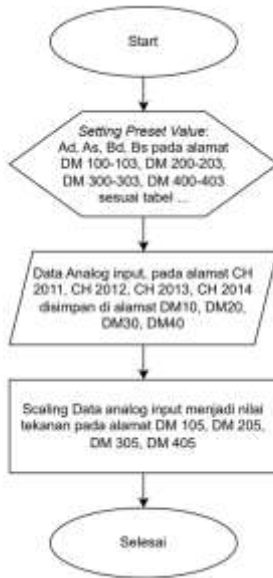
- Slope* : Kemiringan (BCD)
- R* : Tekanan hasil (BCD)
- B_d* : Tekanan maksimum (BCD)
- A_d* : Tekanan minimum (BCD)
- S* : Tegangan *output pressure transmitter* bebas (HEX)
- B_s* : Tegangan *output pressure transmitter* maksimum (HEX)
- A_s* : Tegangan *output pressure transmitter* minimum (HEX)

Panjang data yang digunakan dalam fungsi SCL (194) adalah 16 bit (1 word). Simbol fungsi SCL (194) dan grafik linearitas dari konversi menggunakan fungsi SCL (194) yang digunakan untuk akuisisi data ditampilkan pada Gambar 56. Data pada fungsi SCL (194) terdiri dari tiga data, yaitu:

- S (source): merupakan data sumber, dalam penelitian ini akan berasal dari alamat analog input dengan tipe data hexadesimal dengan panjang data 1 word.
- P1 (1st Parameter): merupakan data parameter pertama yaitu nilai A_d panjang data 1-word dengan tipe data BCD. Parameter P1 diikuti oleh P1+1 untuk nilai A_s tipe data heksadesimal, P1+2 untuk nilai B_d tipe data BCD, dan P1+3 untuk nilai B_s dengan tipe data Hexadesimal. Pada penelitian ini A_s dan B_s merupakan nilai minimum dan maksimum tegangan output pressure transmitter, serta nilai A_d dan nilai B_d secara berurutan merupakan nilai minimum dan maksimum tekanan. Preset value A_d, B_d, A_s, B_s , pada penelitian ini A_d merupakan nilai tekanan minimum tangki ($0_{(BCD)}$), B_d merupakan nilai tegangan minimum sensor ($0_{(16)}$), A_s merupakan nilai tekanan maksimum tangki ($2710_{(16)}$), B_s merupakan nilai tegangan maksimum sensor ($3562_{(BCD)}$).
- R (Result): merupakan data hasil konversi, dengan panjang data 1-word dan tipe data BCD. Pada penelitian ini merupakan nilai tekanan hasil konversi dari tegangan output pressure transmitter.



Gambar 57. Simbol SCL (194) dan Grafik Linier SCL



Gambar 58. Diagram Alir Akuisisi Data Sensor pada PLC CJ2H

Setelah mendapat nilai tekanan, nilai tersebut dikonversi menjadi level menggunakan rumus tekanan hidrostatik.

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

Dimana:

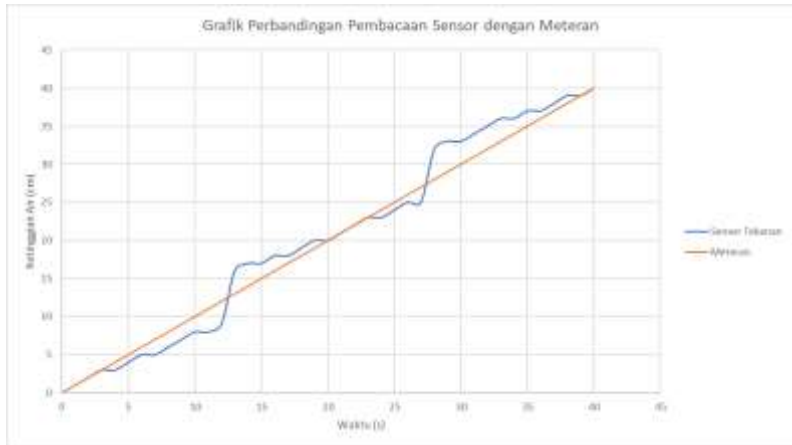
P = Tekanan Hidrostatik (Pa)

ρ = Massa Jenis Cairan (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian (m)

Berikut ini merupakan grafik dari percobaan sensor tekanan yang digunakan dibandingkan dengan rumus menentukan tekanan dan meteran. Data pengujian dapat dilihat dari gambar dibawah ini.



Gambar 59. Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tekanan dan Meteran

Tabel 6. Pembacaan Tekanan pada Tangki 1

Ketinggian Meteran (cm)	Tekanan (kPa)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,052	0,064	0,0561	0,053	0,051	0,024	0,025	0,052	0,051	0,0561
1	0,065	0,089	0,087	0,083	0,072	0,052	0,057	0,065	0,072	0,087
2	0,113	0,131	0,121	0,119	0,119	0,097	0,102	0,113	0,119	0,121
3	0,241	0,265	0,261	0,261	0,258	0,235	0,244	0,231	0,258	0,261
4	0,281	0,301	0,311	0,305	0,305	0,274	0,279	0,282	0,305	0,311
5	0,324	0,357	0,357	0,345	0,344	0,324	0,322	0,324	0,344	0,357
6	0,361	0,401	0,401	0,388	0,387	0,361	0,372	0,361	0,387	0,401
7	0,506	0,533	0,531	0,529	0,519	0,505	0,509	0,506	0,519	0,531
8	0,553	0,578	0,578	0,567	0,567	0,546	0,545	0,553	0,567	0,578
9	0,592	0,616	0,613	0,613	0,611	0,583	0,585	0,592	0,611	0,613
10	0,625	0,663	0,663	0,647	0,647	0,632	0,632	0,663	0,647	0,663
11	0,769	0,801	0,802	0,793	0,792	0,771	0,771	0,801	0,771	0,793
12	0,832	0,841	0,852	0,833	0,834	0,809	0,817	0,841	0,809	0,833
13	0,857	0,887	0,881	0,881	0,882	0,855	0,856	0,887	0,855	0,881
14	0,901	0,931	0,925	0,921	0,915	0,901	0,951	0,931	0,901	0,921
15	1,042	1,075	1,064	1,061	1,057	1,033	1,039	1,075	1,033	1,061
16	1,073	1,112	1,112	1,094	1,104	1,077	1,088	1,112	1,077	1,094
17	1,113	1,143	1,153	1,144	1,128	1,121	1,125	1,143	1,121	1,144
18	1,255	1,288	1,298	1,287	1,281	1,261	1,269	1,288	1,261	1,287
19	1,319	1,332	1,331	1,328	1,319	1,305	1,302	1,332	1,305	1,328
20	1,334	1,382	1,380	1,367	1,362	1,345	1,345	1,380	1,345	1,367
21	1,381	1,417	1,414	1,414	1,409	1,394	1,384	1,414	1,384	1,409
22	1,513	1,553	1,552	1,556	1,541	1,530	1,533	1,552	1,533	1,541
23	1,568	1,590	1,604	1,593	1,586	1,572	1,574	1,604	1,574	1,586
24	1,601	1,643	1,638	1,634	1,635	1,618	1,608	1,638	1,608	1,635
25	1,650	1,671	1,668	1,681	1,671	1,655	1,655	1,668	1,655	1,671
26	1,768	1,827	1,825	1,817	1,816	1,799	1,801	1,825	1,801	1,816
27	1,825	1,861	1,864	1,864	1,856	1,841	1,832	1,864	1,832	1,856
28	1,864	1,909	1,909	1,907	1,897	1,887	1,879	1,909	1,879	1,897
29	1,907	1,942	1,950	1,943	1,941	1,924	1,925	1,951	1,925	1,941
30	2,049	2,102	2,089	2,089	2,049	2,066	2,057	2,089	2,057	2,049
31	2,073	2,130	2,132	2,134	2,118	2,115	2,113	2,134	2,134	2,115
32	2,116	2,180	2,167	2,164	2,152	2,132	2,151	2,164	2,164	2,150
33	2,211	2,220	2,246	2,213	2,207	2,245	2,253	2,213	2,213	2,265
34	2,306	2,360	2,352	2,344	2,344	2,340	2,339	2,344	2,381	2,340
35	2,339	2,405	2,405	2,404	2,388	2,385	2,373	2,404	2,404	2,385
36	2,369	2,451	2,440	2,435	2,422	2,407	2,421	2,435	2,435	2,407
37	2,422	2,527	2,519	2,521	2,519	2,457	2,454	2,512	2,529	2,457
38	2,492	2,589	2,580	2,583	2,585	2,534	2,541	2,573	2,595	2,539
39	2,551	2,651	2,641	2,646	2,651	2,595	2,603	2,632	2,662	2,601
40	2,609	2,713	2,702	2,708	2,718	2,655	2,665	2,695	2,728	2,662

Table pembacaan tekanan pada tangki 1 pada ketinggian 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level.

Tabel 7. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 1

Ketinggian Meteran (cm)	Ketinggian Air (cm)									
	Percobaan ke-n									
0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	2	3	3	3	3	2	2	2	3	2
4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3
5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	5	5	5	5	4	4	4	5	4
7	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5
8	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
9	6	7	7	7	7	6	6	6	7	6
10	7	8	8	7	7	7	7	7	7	7
11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
12	9	9	9	9	9	8	8	9	9	9
13	9	16	16	16	16	9	9	16	16	16
14	16	17	16	16	16	16	16	17	16	17
15	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
16	17	18	18	18	18	17	17	18	18	18
17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
18	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
19	20	20	20	20	20	19	19	20	20	20
20	20	21	21	20	20	20	20	21	20	21
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	21	22	22	22	22	21	21	22	21	21
23	22	22	23	22	22	22	22	23	22	22
24	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
25	23	24	24	24	24	23	23	24	23	23
26	24	25	25	25	25	24	24	25	24	24
27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
28	25	32	32	32	32	32	32	32	32	32
29	32	33	33	33	33	32	32	33	32	32
30	33	34	33	33	33	33	33	33	33	33
31	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
32	34	35	35	35	35	34	34	35	34	35
33	35	36	35	35	35	35	35	35	35	36
34	35	36	36	36	36	36	36	36	36	36
35	36	37	37	37	37	37	36	37	36	37
36	36	38	37	37	37	37	37	37	37	38
37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38
38	39	39	39	39	39	39	38	39	38	39
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Table pembacaan ketinggian lever air pada tangki 1 dari 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level dan dibandingkan dengan pembacaan menggunakan meteran dengan satuan cm.

Tabel 8. Pembacaan Tekanan pada Tangki 2

Ketinggian Meteran (cm)	Tekanan (hPa)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,147	0,005	0,147	0,005	0,005	0,147	0,005	0,147	0,005	0,147
1	0,277	0,038	0,277	0,038	0,038	0,277	0,038	0,277	0,038	0,277
2	0,324	0,081	0,324	0,081	0,081	0,324	0,081	0,324	0,081	0,324
3	0,358	0,121	0,358	0,121	0,121	0,358	0,121	0,358	0,121	0,358
4	0,405	0,263	0,405	0,263	0,263	0,405	0,263	0,405	0,263	0,405
5	0,537	0,32	0,537	0,32	0,32	0,537	0,32	0,537	0,32	0,537
6	0,577	0,355	0,577	0,355	0,355	0,577	0,355	0,577	0,355	0,577
7	0,614	0,393	0,614	0,393	0,393	0,614	0,393	0,614	0,393	0,614
8	0,66	0,532	0,66	0,532	0,532	0,66	0,532	0,66	0,532	0,66
9	0,805	0,568	0,805	0,568	0,568	0,805	0,568	0,805	0,568	0,805
10	0,848	0,612	0,848	0,612	0,612	0,848	0,612	0,848	0,612	0,848
11	0,886	0,656	0,886	0,656	0,656	0,886	0,656	0,886	0,656	0,886
12	1,024	0,792	1,024	0,792	0,792	1,024	0,792	1,024	0,792	1,024
13	1,060	0,841	1,060	0,841	0,841	1,060	0,841	1,060	0,841	1,060
14	1,106	0,886	1,106	0,886	0,886	1,106	0,886	1,106	0,886	1,106
15	1,144	1,025	1,144	1,025	1,025	1,144	1,025	1,144	1,025	1,144
16	1,280	1,064	1,280	1,064	1,064	1,280	1,064	1,280	1,064	1,280
17	1,320	1,109	1,320	1,109	1,109	1,320	1,109	1,320	1,109	1,320
18	1,366	1,145	1,366	1,145	1,145	1,366	1,145	1,366	1,145	1,366
19	1,410	1,288	1,410	1,288	1,288	1,410	1,288	1,410	1,288	1,410
20	1,540	1,331	1,540	1,331	1,331	1,540	1,331	1,540	1,331	1,540
21	1,577	1,377	1,577	1,377	1,377	1,577	1,377	1,577	1,377	1,577
22	1,616	1,413	1,616	1,413	1,413	1,616	1,413	1,616	1,413	1,616
23	1,654	1,556	1,654	1,556	1,556	1,654	1,556	1,654	1,556	1,654
24	1,686	1,593	1,686	1,593	1,593	1,686	1,593	1,686	1,593	1,686
25	1,830	1,640	1,830	1,640	1,640	1,830	1,640	1,830	1,640	1,830
26	1,864	1,684	1,864	1,684	1,684	1,864	1,684	1,864	1,684	1,864
27	1,904	1,817	1,904	1,817	1,817	1,904	1,817	1,904	1,817	1,904
28	1,941	1,858	1,941	1,858	1,858	1,941	1,858	1,941	1,858	1,941
29	2,073	1,906	2,073	1,906	1,906	2,073	1,906	2,073	1,906	2,073
30	2,116	2,048	2,116	2,048	2,048	2,116	2,048	2,116	2,048	2,116
31	2,153	2,096	2,153	2,096	2,096	2,153	2,096	2,153	2,096	2,153
32	2,185	2,131	2,185	2,131	2,131	2,185	2,131	2,185	2,131	2,185
33	2,323	2,165	2,323	2,165	2,165	2,323	2,165	2,323	2,165	2,323
34	2,361	2,070	2,361	2,070	2,070	2,361	2,070	2,361	2,070	2,361
35	2,401	2,356	2,401	2,356	2,356	2,401	2,356	2,401	2,356	2,401
36	2,439	2,392	2,439	2,392	2,392	2,439	2,392	2,439	2,392	2,439
37	4,112	2,434	4,112	2,434	2,434	4,112	2,434	4,112	2,434	4,112
38	4,149	4,113	4,149	4,113	4,113	4,149	4,113	4,149	4,113	4,149
39	4,185	4,161	4,185	4,161	4,161	4,185	4,161	4,185	4,161	4,185
40	4,215	4,197	4,215	4,197	4,197	4,215	4,197	4,215	4,197	4,215

Table pembacaan tekanan pada tangki 2 pada ketinggian 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level.

Tabel 9. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 2

Ketinggian Meteran (cm)	Ketinggian Sistem (cm)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	3
4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4
5	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5
6	6	4	6	4	4	6	4	6	4	6
7	7	5	7	5	5	7	5	7	5	7
8	8	6	8	6	6	8	6	8	6	8
9	8	6	8	6	6	8	6	8	6	8
10	9	7	9	7	7	9	7	9	7	9
11	16	8	16	8	8	16	8	16	8	16
12	16	8	16	8	8	16	8	16	8	16
13	17	9	17	9	9	17	9	17	9	17
14	18	16	18	16	16	18	16	18	16	18
15	18	17	18	17	17	18	17	18	17	18
16	19	17	19	17	17	19	17	19	17	19
17	20	18	20	18	18	20	18	20	18	20
18	21	19	21	19	19	21	19	21	19	21
19	21	19	21	19	19	21	19	21	19	21
20	22	20	22	20	20	22	20	22	20	22
21	22	21	22	21	21	22	21	22	21	22
22	23	21	23	21	21	23	21	23	21	23
23	24	22	24	22	22	24	22	24	22	24
24	24	23	24	23	23	24	23	24	23	24
25	25	24	25	24	24	25	24	25	24	25
26	32	24	32	24	24	32	24	32	24	32
27	32	25	32	25	25	32	25	32	25	32
28	33	32	33	32	32	33	32	33	32	33
29	33	32	33	32	32	33	32	33	32	33
30	34	33	34	33	33	34	33	34	33	34
31	35	34	35	34	34	35	34	35	34	35
32	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
33	36	35	36	35	35	36	35	36	35	36
34	37	36	37	36	36	37	36	37	36	37
35	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
36	38	37	38	37	37	38	37	38	37	38
37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
39	40	39	40	39	39	40	39	40	39	40
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Tabel pembacaan ketinggian lever air pada tangki 2 dari 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level dan dibandingkan dengan pembacaan menggunakan meteran dengan satuan cm.

Tabel 10. Pembacaan Tekanan pada Tangki 3

Ketinggian Meteran (cm)	Tekanan (hPa)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0,02	0	0	0,02	0	0	0,02	0	0
1	0	0,081	0,001	0	0,081	0,001	0	0,081	0,001	0
2	0	0,121	0,04	0	0,121	0,04	0	0,121	0,04	0
3	0,038	0,26	0,086	0,038	0,26	0,086	0,038	0,26	0,086	0,038
4	0,086	0,305	0,12	0,086	0,305	0,12	0,086	0,305	0,12	0,086
5	0,128	0,345	0,272	0,128	0,345	0,272	0,128	0,345	0,272	0,128
6	0,265	0,39	0,305	0,265	0,39	0,305	0,265	0,39	0,305	0,265
7	0,312	0,531	0,353	0,312	0,531	0,353	0,312	0,531	0,353	0,312
8	0,356	0,567	0,387	0,356	0,567	0,387	0,356	0,567	0,387	0,356
9	0,401	0,613	0,531	0,401	0,613	0,531	0,401	0,613	0,531	0,401
10	0,534	0,649	0,578	0,534	0,649	0,578	0,534	0,649	0,578	0,534
11	0,581	0,786	0,615	0,581	0,786	0,615	0,581	0,786	0,615	0,581
12	0,626	0,835	0,66	0,626	0,835	0,66	0,626	0,835	0,66	0,626
13	0,665	0,88	0,802	0,665	0,88	0,802	0,665	0,88	0,802	0,665
14	0,803	0,918	0,869	0,803	0,918	0,869	0,803	0,918	0,869	0,803
15	0,851	1,057	0,885	0,851	1,057	0,885	0,851	1,057	0,885	0,851
16	0,885	1,096	1,025	0,885	1,096	1,025	0,885	1,096	1,025	0,885
17	1,030	1,141	1,072	1,030	1,141	1,072	1,030	1,141	1,072	1,030
18	1,075	1,281	1,112	1,075	1,281	1,112	1,075	1,281	1,112	1,075
19	1,120	1,318	1,145	1,120	1,318	1,145	1,120	1,318	1,145	1,120
20	1,156	1,361	1,299	1,156	1,361	1,299	1,156	1,361	1,299	1,156
21	1,299	1,408	1,335	1,299	1,408	1,335	1,299	1,408	1,335	1,299
22	1,348	1,541	1,382	1,348	1,541	1,382	1,348	1,541	1,382	1,348
23	1,384	1,587	1,426	1,384	1,587	1,426	1,384	1,587	1,426	1,384
24	1,429	1,632	1,557	1,429	1,632	1,557	1,429	1,632	1,557	1,429
25	1,572	1,671	1,607	1,572	1,671	1,607	1,572	1,671	1,607	1,572
26	1,617	1,801	1,652	1,617	1,801	1,652	1,617	1,801	1,652	1,617
27	1,656	1,857	1,689	1,656	1,857	1,689	1,656	1,857	1,689	1,656
28	1,799	1,892	1,832	1,799	1,892	1,832	1,799	1,892	1,832	1,799
29	1,843	1,939	1,877	1,843	1,939	1,877	1,843	1,939	1,877	1,843
30	1,881	2,071	1,922	1,881	2,071	1,922	1,881	2,071	1,922	1,881
31	1,927	2,118	2,064	1,927	2,118	2,064	1,927	2,118	2,064	1,927
32	2,069	2,161	2,104	2,069	2,161	2,104	2,069	2,161	2,104	2,069
33	2,112	2,201	2,150	2,112	2,201	2,150	2,112	2,201	2,150	2,112
34	2,160	2,338	2,193	2,160	2,338	2,193	2,160	2,338	2,193	2,160
35	2,305	2,384	2,325	2,305	2,384	2,325	2,305	2,384	2,325	2,305
36	2,341	2,421	2,371	2,341	2,421	2,371	2,341	2,421	2,371	2,341
37	2,380	4,096	2,417	2,380	4,096	2,417	2,380	4,096	2,417	2,380
38	2,421	4,151	4,097	2,421	4,151	4,097	2,421	4,151	4,097	2,421
39	4,099	4,179	4,151	4,099	4,179	4,151	4,099	4,179	4,151	4,099
40	4,146	4,217	4,181	4,146	4,217	4,181	4,146	4,217	4,181	4,146

Table pembacaan tekanan pada tangki 3 pada ketinggian 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level.

Tabel 11. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 3

Ketinggian Meteran (cm)	Ketinggian Sistem (cm)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1
3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
4	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2
5	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3
6	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
7	4	6	4	4	6	4	4	6	4	4
8	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5
9	6	7	6	6	7	6	6	7	6	6
10	6	8	6	6	8	6	6	8	6	6
11	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7
12	8	9	8	8	9	8	8	9	8	8
13	9	16	8	9	16	8	9	16	8	9
14	9	16	9	9	16	9	9	16	9	9
15	16	17	16	16	17	16	16	17	16	16
16	16	18	16	16	18	16	16	18	16	16
17	17	18	17	17	18	17	17	18	17	17
18	18	19	18	18	19	18	18	19	18	18
19	19	20	18	19	20	18	19	20	18	19
20	19	20	19	19	20	19	19	20	19	19
21	20	21	20	20	21	20	20	21	20	20
22	21	22	21	21	22	21	21	22	21	21
23	21	23	21	21	23	21	21	23	21	21
24	22	23	22	22	23	22	22	23	22	22
25	23	24	23	23	24	23	23	24	23	23
26	23	24	24	23	24	24	23	24	24	23
27	24	25	24	24	25	24	24	25	24	24
28	25	32	25	25	32	25	25	32	25	25
29	32	33	32	32	33	32	32	33	32	32
30	32	33	32	32	33	32	32	33	32	32
31	33	34	33	33	34	33	33	34	33	33
32	34	35	34	34	35	34	34	35	34	34
33	34	35	35	34	35	35	34	35	35	34
34	35	36	35	35	36	35	35	36	35	35
35	36	37	36	36	37	36	36	37	36	36
36	36	37	37	36	37	37	36	37	37	36
37	37	38	37	37	38	37	37	38	37	37
38	38	39	38	38	39	38	38	39	38	38
39	38	39	39	38	39	39	38	39	39	38
40	39	40	40	39	40	40	39	40	40	39

Table pembacaan ketinggian lever air pada tangki 3 dari 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level dan dibandingkan dengan pembacaan menggunakan meteran dengan satuan cm.

Tabel 12. Pembacaan Tekanan pada Tangki 4

Ketinggian Meteran (cm)	Tekanan (hPa)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,114	0,051	0,114	0,051	0,114	0,051	0,005	0	0,025	0,052
1	0,145	0,072	0,145	0,072	0,145	0,072	0,038	0,001	0,057	0,065
2	0,279	0,119	0,279	0,119	0,279	0,119	0,081	0,04	0,102	0,113
3	0,321	0,258	0,321	0,258	0,321	0,258	0,121	0,086	0,244	0,231
4	0,361	0,305	0,361	0,305	0,361	0,305	0,263	0,12	0,279	0,282
5	0,405	0,344	0,405	0,344	0,405	0,344	0,32	0,272	0,322	0,324
6	0,547	0,387	0,547	0,387	0,547	0,387	0,355	0,305	0,372	0,361
7	0,583	0,519	0,583	0,519	0,583	0,519	0,393	0,353	0,509	0,506
8	0,625	0,567	0,625	0,567	0,625	0,567	0,532	0,387	0,545	0,553
9	0,665	0,611	0,665	0,611	0,665	0,611	0,568	0,531	0,585	0,592
10	0,806	0,647	0,806	0,647	0,806	0,647	0,612	0,578	0,632	0,663
11	0,841	0,792	0,841	0,792	0,841	0,792	0,656	0,615	0,771	0,801
12	0,873	0,834	0,873	0,834	0,873	0,834	0,792	0,66	0,817	0,841
13	0,917	0,882	0,917	0,882	0,917	0,882	0,841	0,802	0,856	0,887
14	1,061	0,915	1,061	0,915	1,061	0,915	0,886	0,869	0,951	0,931
15	1,107	1,057	1,107	1,057	1,107	1,057	1,025	0,885	1,039	1,075
16	1,143	1,104	1,143	1,104	1,143	1,104	1,064	1,025	1,088	1,112
17	1,282	1,128	1,282	1,128	1,282	1,128	1,109	1,072	1,125	1,143
18	1,314	1,281	1,314	1,281	1,314	1,281	1,145	1,112	1,269	1,288
19	1,363	1,319	1,363	1,319	1,363	1,319	1,288	1,145	1,302	1,332
20	1,401	1,362	1,401	1,362	1,401	1,362	1,331	1,299	1,345	1,385
21	1,539	1,409	1,539	1,409	1,539	1,409	1,377	1,335	1,384	1,414
22	1,574	1,541	1,574	1,541	1,574	1,541	1,413	1,382	1,533	1,552
23	1,619	1,586	1,619	1,586	1,619	1,586	1,556	1,426	1,574	1,604
24	1,654	1,635	1,654	1,635	1,654	1,635	1,593	1,557	1,608	1,638
25	1,796	1,671	1,796	1,671	1,796	1,671	1,640	1,607	1,655	1,668
26	1,831	1,816	1,831	1,816	1,831	1,816	1,684	1,652	1,801	1,825
27	1,874	1,856	1,874	1,856	1,874	1,856	1,817	1,689	1,832	1,864
28	1,912	1,897	1,912	1,897	1,912	1,897	1,858	1,832	1,879	1,909
29	2,050	1,941	2,050	1,941	2,050	1,941	1,906	1,877	1,925	1,951
30	2,084	2,049	2,084	2,049	2,084	2,049	2,048	1,922	2,057	2,089
31	2,118	2,118	2,118	2,118	2,118	2,118	2,096	2,064	2,113	2,134
32	2,163	2,152	2,163	2,152	2,163	2,152	2,131	2,104	2,151	2,164
33	2,201	2,207	2,201	2,207	2,201	2,207	2,165	2,150	2,253	2,213
34	2,339	2,344	2,339	2,344	2,339	2,344	2,070	2,193	2,339	2,344
35	2,375	2,388	2,375	2,388	2,375	2,388	2,356	2,325	2,373	2,404
36	2,417	2,422	2,417	2,422	2,417	2,422	2,392	2,371	2,421	2,435
37	2,451	2,519	2,451	2,519	2,451	2,519	2,434	2,417	2,454	2,512
38	4,136	2,585	4,136	2,585	4,136	2,585	4,113	4,097	2,541	2,573
39	4,176	2,651	4,176	2,651	4,176	2,651	4,161	4,151	2,603	2,632
40	4,209	2,718	4,209	2,718	4,209	2,718	4,197	4,181	2,665	2,695

Table pembacaan tekanan pada tangki 4 pada ketinggian 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level.

Tabel 13. Pembacaan Ketinggian Level Air Tangki 4

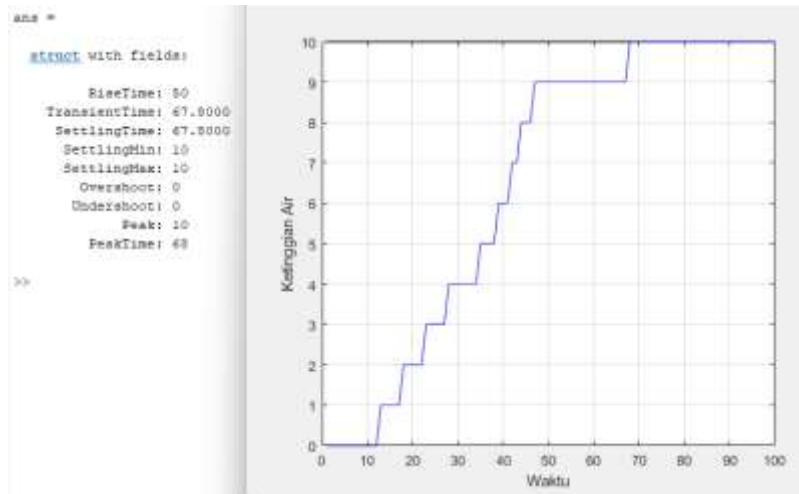
Ketinggian Meteran (cm)	Ketinggian Sistem (cm)									
	Percobaan ke-n									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2	1	2	1	2	1	0	0	1	0
1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1
2	3	2	3	2	3	2	1	2	2	2
3	4	3	4	3	4	3	2	3	3	2
4	5	3	5	3	5	3	3	3	3	3
5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4
6	6	5	6	5	6	5	4	5	5	4
7	7	5	7	5	7	5	5	6	5	5
8	7	6	7	6	7	6	6	6	6	6
9	8	7	8	7	8	7	6	7	7	6
10	9	7	9	7	9	7	7	8	7	7
11	16	8	16	8	16	8	8	8	8	8
12	16	9	16	9	16	9	8	9	9	9
13	17	16	17	16	17	16	9	16	16	16
14	18	16	18	16	18	16	16	16	16	17
15	18	17	18	17	18	17	17	17	17	17
16	19	18	19	18	19	18	17	18	18	18
17	20	18	20	18	20	18	18	18	18	18
18	20	19	20	19	20	19	19	19	19	19
19	21	20	21	20	21	20	19	20	20	20
20	22	20	22	20	22	20	20	20	20	21
21	23	21	23	21	23	21	21	21	21	21
22	23	22	23	22	23	22	21	22	21	21
23	24	22	24	22	24	22	22	23	22	22
24	25	23	25	23	25	23	23	23	23	23
25	25	24	25	24	25	24	24	24	23	23
26	32	25	32	25	32	25	24	24	24	24
27	33	25	33	25	33	25	25	25	25	25
28	33	32	33	32	33	32	32	32	32	32
29	34	33	34	33	34	33	32	33	32	32
30	35	33	35	33	35	33	33	33	33	33
31	35	34	35	34	35	34	34	34	34	34
32	36	35	36	35	36	35	35	35	34	35
33	37	35	37	35	37	35	35	35	35	36
34	37	36	37	36	37	36	36	36	36	36
35	38	37	38	37	38	37	37	37	36	37
36	39	37	39	37	39	37	37	37	37	38
37	39	38	39	38	39	38	38	38	38	38
38	40	39	40	39	40	39	39	39	38	39
39	41	39	41	39	41	39	39	39	39	39
40	41	40	41	40	41	40	40	40	40	40

Table pembacaan ketinggian lever air pada tangki 4 dari 0 cm – 40 cm dalam 10 kali pengukuran pada tiap level dan dibandingkan dengan pembacaan menggunakan meteran dengan satuan cm.

4.1.2. Percobaan PID

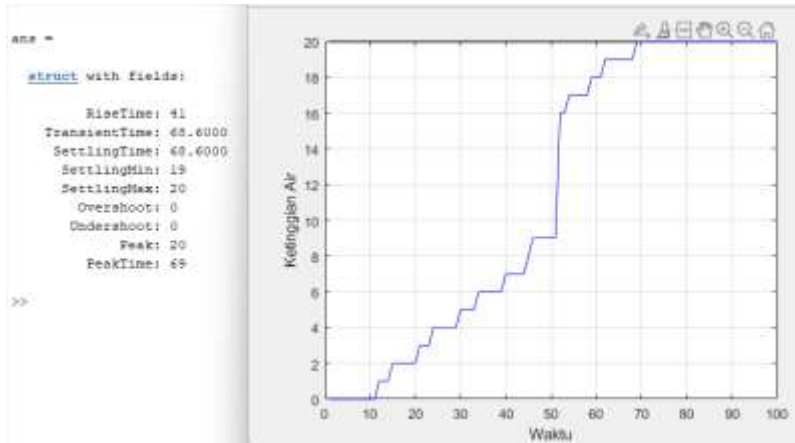
Pada percobaan menggunakan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, dilakukan serangkaian pengujian dengan berbagai *set value* ketinggian dari 10 cm hingga 40 cm. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat monitor dan kontrol *couple tank* berbasis IoT dalam merespon dan mengatur ketinggian air sesuai dengan nilai yang ditentukan. Hasil pengujian ini meliputi nilai *rise time*, *settling time*, dan *overshoot* yang dapat dilihat dari gambar dibawah ini.

1. Percobaan PID pada Tank 1



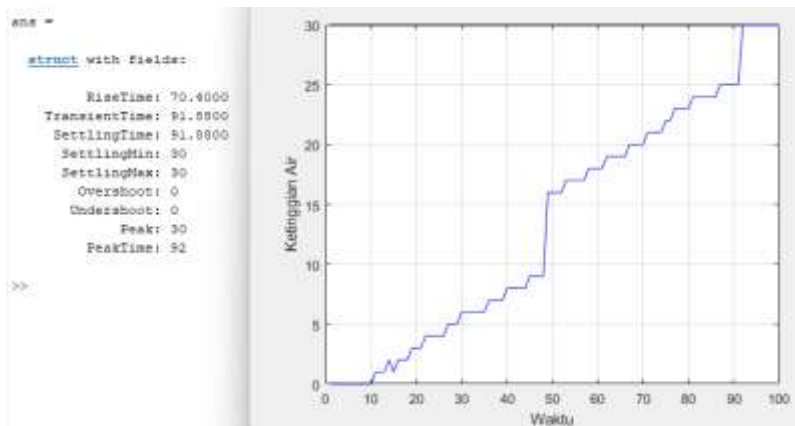
Gambar 60. Set Value 10 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 10 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 50 detik, settling time 67,8 detik, dan overshoot tidak ada.



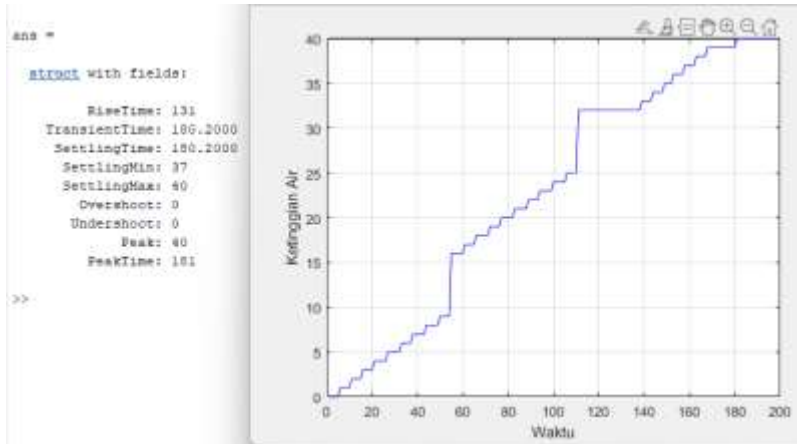
Gambar 61. Set Value 20 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 20 cm dengan nilai $K_p = 100$, K_i , 2, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 41 detik, settling time 68,6 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 62. Set Value 30 cm

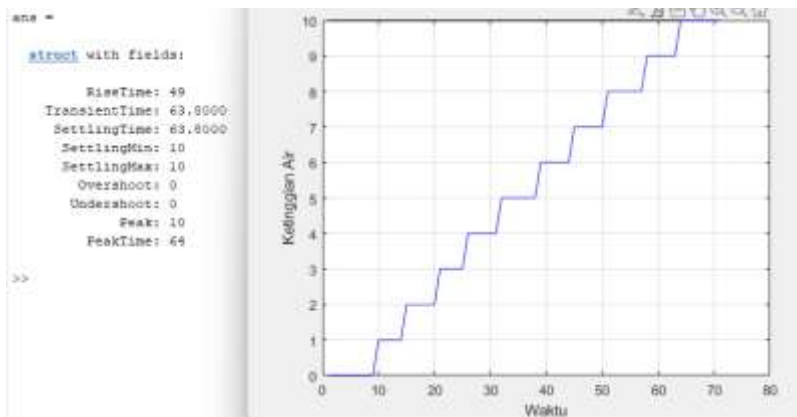
Berdasarkan gambar 60, pada Set Value 30 cm dengan nilai $K_p = 100$, K_i , 2, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 70,4 detik, settling time 91,8 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 63. Set Value 40 cm

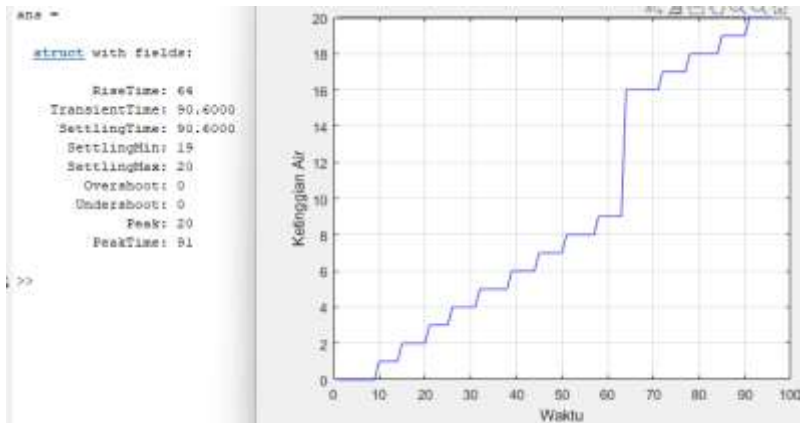
Berdasarkan gambar 61, pada Set Value 40 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 131 detik, settling time 180,2 detik, dan overshoot tidak ada.

2. Percobaan PID pada Tank 2



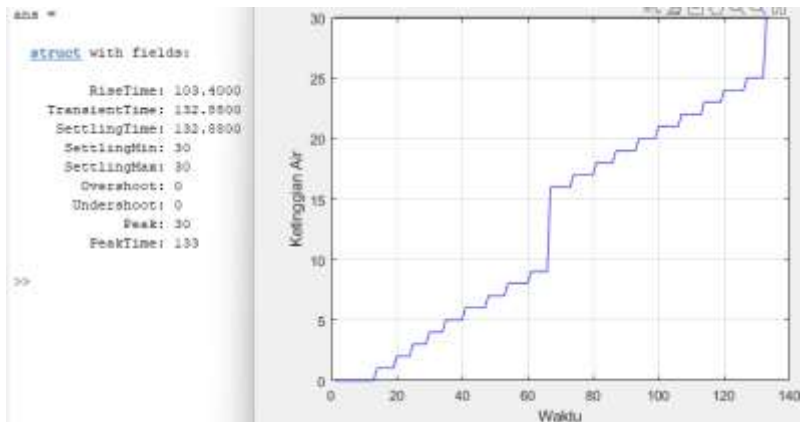
Gambar 64. Set Value 10 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 10 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 49 detik, settling time 63,8 detik, dan overshoot tidak ada.



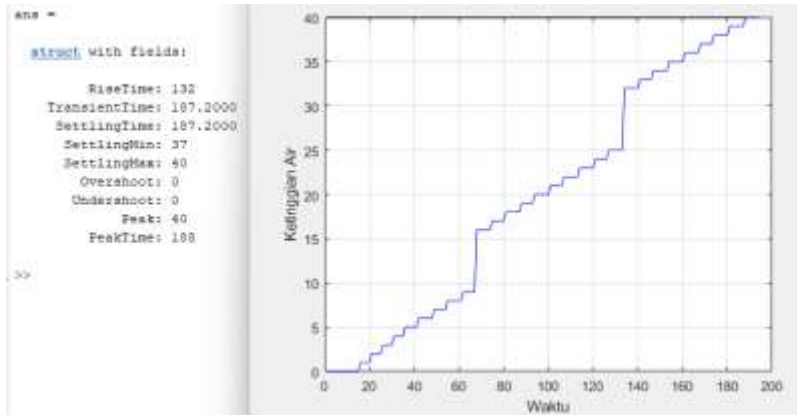
Gambar 65. Set Value 20 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 20 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 64 detik, settling time 90,6 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 66. Set Value 30 cm

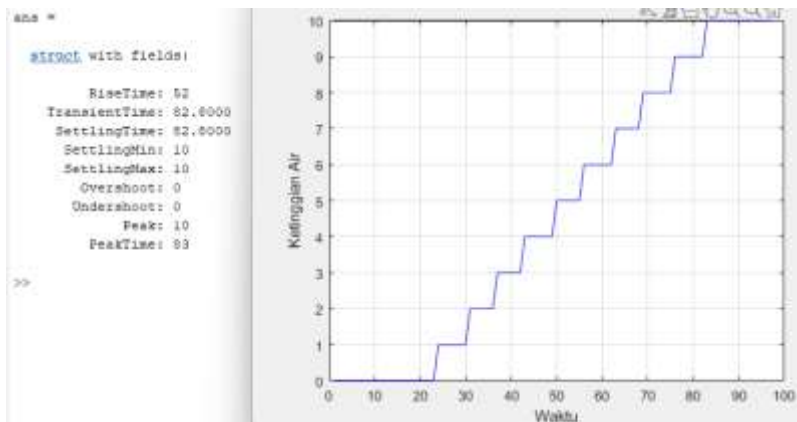
Berdasarkan gambar 60, pada Set Value 30 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 103,4 detik, settling time 132,8 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 67. Set Value 40 cm

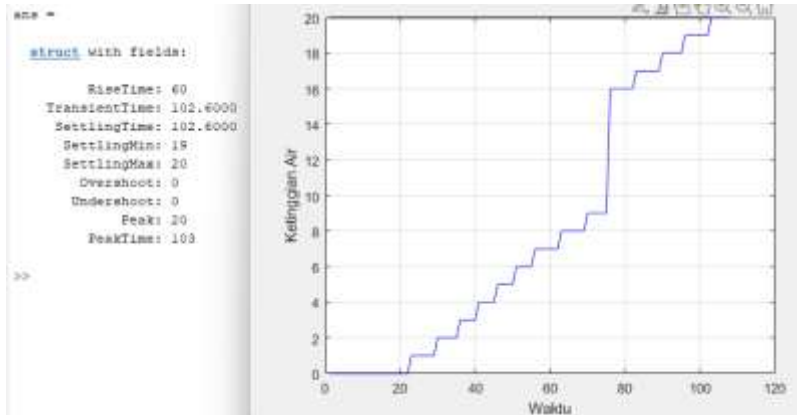
Berdasarkan gambar 67, pada Set Value 40 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 132 detik, settling time 187,2 detik, dan overshoot tidak ada.

3. Percobaan PID pada Tank 3



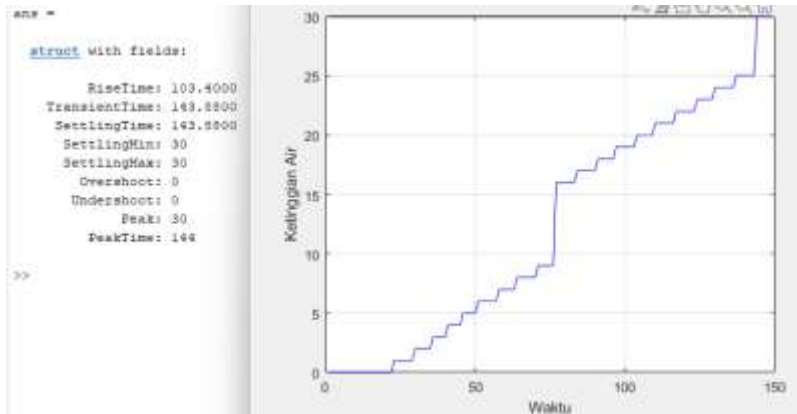
Gambar 68. Set Value 10 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 10 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 52 detik, settling time 82,8 detik, dan overshoot tidak ada.



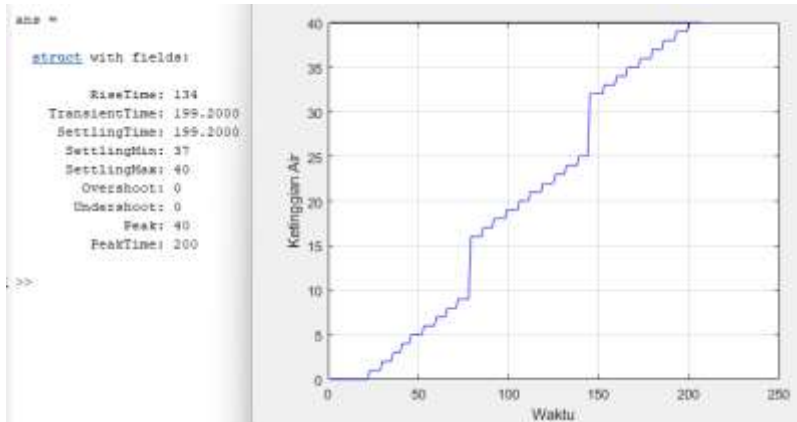
Gambar 69. Set Value 20 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 20 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 60 detik, settling time 102,6 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 70. Set Value 30 cm

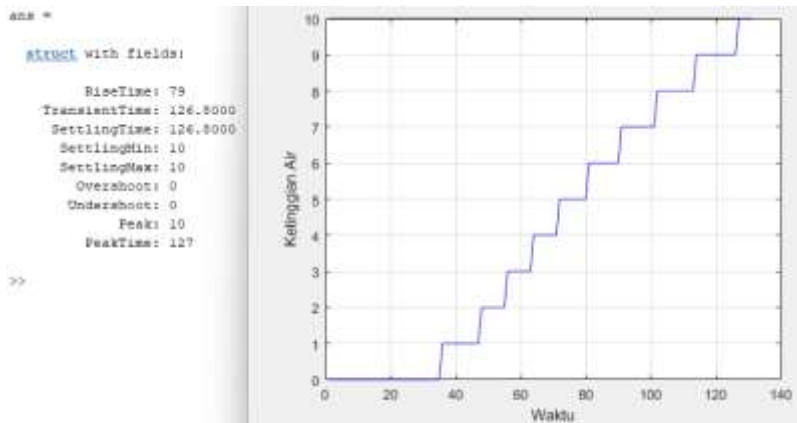
Berdasarkan gambar 60, pada Set Value 30 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 103,4 detik, settling time 143,8 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 71. Set Value 40 cm

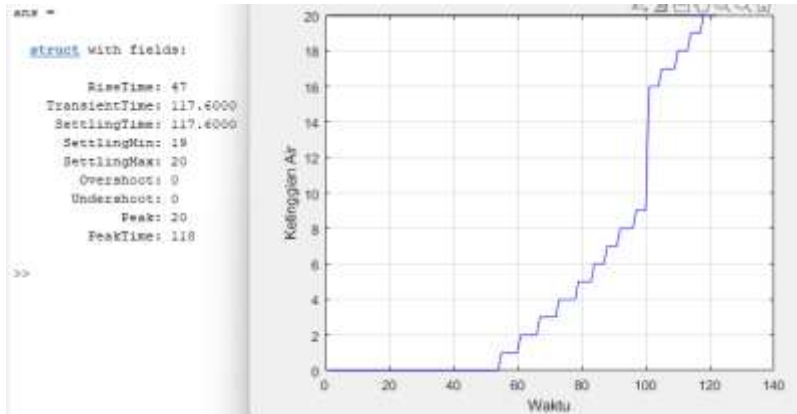
Berdasarkan gambar 67, pada Set Value 40 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 134 detik, settling time 199,2 detik, dan overshoot tidak ada.

4. Percobaan PID pada Tank 4



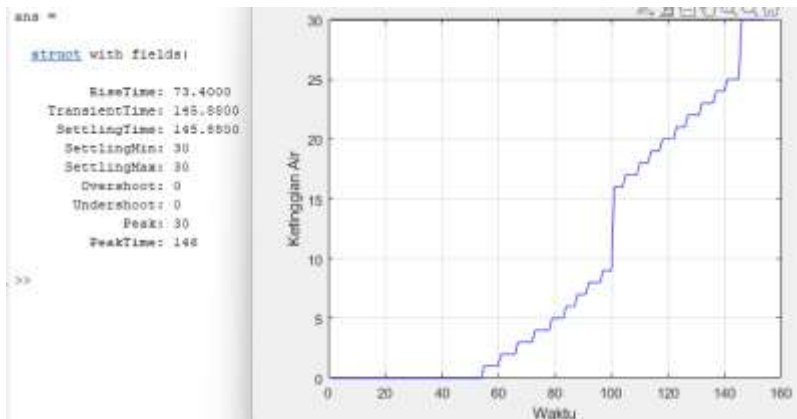
Gambar 72. Set Value 10 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 10 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 79 detik, settling time 126,8 detik, dan overshoot tidak ada.



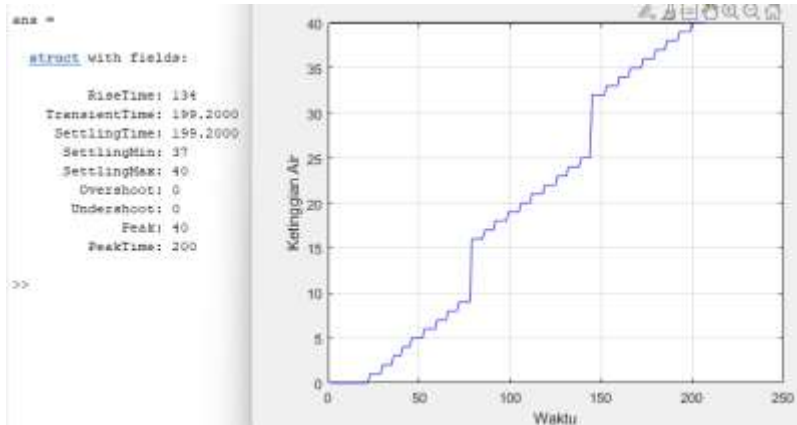
Gambar 73. Set Value 20 cm

Berdasarkan gambar 59, pada Set Value 20 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 47 detik, settling time 117,6 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 74. Set Value 30 cm

Berdasarkan gambar 60, pada Set Value 30 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 73,4 detik, settling time 145,8 detik, dan overshoot tidak ada.



Gambar 75. Set Value 40 cm

Berdasarkan gambar 67, pada Set Value 40 cm dengan nilai $K_p = 100$, $K_i = 2$, dan $K_d = 1000$, didapatkan nilai Rise Time = 134 detik, settling time 199,2 detik, dan overshoot tidak ada.

4.1.2. Tes Efisiensi Waktu

Tes ini dilakukan untuk mendapatkan efisiensi mesin yang dibuat dengan cara dilakukan pengujian pengambilan waktu secara berulang selama 10 kali percobaan untuk mencapai target yang bermula dari ketinggian 0 cm menuju ketinggian 20 cm. Untuk hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 14. Hasil Pengujian Efisiensi Waktu

N o	Percobaan Ke	Set Point (cm)	Waktu yang Diperlukan (s)	Rata-rata Waktu (s)
1	1	20	41	41
2	2	20	40	
3	3	20	42	
4	4	20	41	
5	5	20	41	
6	6	20	40	

7	7	20	41
8	8	20	42
9	9	20	41
10	10	20	41

Berdasarkan tabel 6, pengujian kali ini melibatkan 10 data waktu untuk menghitung durasi yang dibutuhkan. Waktu terpanjang tercatat 42 detik dan waktu tercepat tercatat 40 detik. Setelah menghitung rata-rata dari 10 data tersebut, diperoleh rata-rata waktu 41 detik.

4.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian, sensor yang digunakan berhasil bekerja dengan baik sesuai data yang diperoleh dari pengujian sensor tekanan. Dengan catatan di beberapa titik pembacaan sensor mengalami lonjakan yang dapat dilihat dari gambar 53. Pembacaan sensor tekanan mengalami lonjakan pada ketinggian antara 9 - 16 cm dan 25 – 32 cm.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Hasil pengukuran tekanan dengan mengimplementasikan metode PID dalam pengukuran membaca ketinggian level air menggunakan tekanan dalam tangki memiliki tingkat akurasi yang terbilang rendah dengan persentase error terendah pada 14,20 % dan persentase error tertinggi sebesar 40,89 % , kemudian dengan rata-rata error sebesar 29,84 %. Dan akurasi dalam pengukuran ketinggian level air juga memiliki akurasi yang rendah dengan persentase error tertinggi sebesar 28 % dan persentase error terendah sebesar -16,43 % dan rata-rata error sebesar 3,18 %.
2. Inovasi pada penelitian kali ini terletak pada pengontrolan valve secara otomatis menggunakan motor servo. Yang sebelumnya valve di kontrol manual oleh operator. Dengan pengontrolan valve secara otomatis, maka tingkat kecepatan bukaan valve dapat lebih baik dari penelitian sebelumnya.

5.2. Saran

1. Saran untuk penelitian selanjutnya untuk mengecilkan *range* pembacaan sensor tekanan dari 10 kPa menjadi yang lebih kecil. Karena pembacaan sensor tekanan pada tangki dengan ketinggian 40 cm adalah 3,9 kPa.
2. Untuk pengontrolan ketinggian yang lebih baik, disarankan untuk juga mengontrol kecepatan pompa sehingga air yang masuk dan air yang keluar dapat seimbang.

Daftar Pustaka

- Ahmad, Faisal. 2022. Pengendalian Level Coupled Tank Menggunakan Metode Sliding Mode Control (SMC) Hybrid Proportional Integral Derivative (PID) di Simulink Matlab, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim.
- Arifin, Fatchul. 2021. PID Controller. Artikel Pembelajaran Perkuliahan. 1-2.
- Fahrudi, A. 2023. Rancang Bangun Sensor Level Berbasis Sensor Design of Level Sensor Based on Pressure Sensor in Palm's Oil Processing Tank, Rancang Bangun Sensor Level Berbasis Sensor Tekanan Pada Tangki Proses Minyak Kelapa.
- Getu, B.N. 2022. Water level controlling system using PID controller, International Journal of Applied Engineering Research, 11(23), pp. 11223–11227.
- Ghifari, Afiszan. 2022. Perancangan Sistem Scada Pengendalian Sand Filter Pada Automasi Sistem Pengolahan Air. Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala.
- Gozali, M. S., Darmoyono, A. G., Wijanarko, H., Futra, A. D., Kamarudin, Tobing, C. A. B. L. 2023. Akuisisi Data Pressure Transmitter melalui CX-Supervisor pada STEM Pressure Measurement and Control Plant.
- Halili, S. H. 2021. Technological advancements in education 4.0. The Online Journal of Distance Education and E-Learning, 7(1), 63–69.
- Hermann, M. 2022. Design principles for industry 4.0 scenarios. 2022 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 3928–3937.
- Nurjan, Didik Purwanto (2023) Aplikasi Pemrosesan Bioetanol Sistem Bath Semi Kontinyu Dengan Kontrol PID, Menggunakan PLC Omron CP1H-XA40Dt1-D Berbasis NB Designer Dengan Tampilan HMI (Human Machine Interface). Masters thesis, UNIVERSITAS LAMPUNG.
- Prasetyo, B., & Umi, T. (2021). Revolusi industri 4.0 dan tantangan perubahan sosial. IPTEK Journal of Proceedings Series, 5, 22–27.
- Prasetyo, Pranda. 2023. Sistem Pengendalian Suhu Pada Pemanas Air Dengan Servo Valve Menggunakan Metode PID. Politeknik Negeri Malang.
- Puspitarini, E.D., Effendie, R. and Pramudijanto, J. 2021. Desain Pengaturan Level pada *Coupled Tank* Process dengan Menggunakan Metode Model *Predictive Control*, Jurnal Teknik ITS, 6(1).
- Ridwan, Ahmad. 2021. Perancangan Human Machine Interface (HMI) Pada Modul Praktikum Sistem HMI Berbasis PLC Omron CP1E NA20DRA: Tugas Akhir, 2021.
- Rheza, Q. D. 2022. Desain Autotuning Kontroler PID Berbasis Algoritma *Neural Network* untuk Sistem Pengaturan Cascade Level dan *Flow Liquid* pada *Plant Coupled Tanks*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Stearns, P. N. 2021. The industrial revolution in world history: Fourth edition. Routledge.

- Susanti, E., Rifa'atul Maulidah, & Yanti Sofi Makiyah. 2021. Peran guru fisika di era revolusi industri 4.0. *Diffraction : Journal for Physics Education and Applied Physics*, 1(1), 48–52.
- Siregar, Munawar Alfansury. 2021. Karakteristik Unjuk Kerja Pompa (PAT) Dua Pompa Hisap Disusunan Paralel Untuk Pembangkit Listrik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Yahya, S. 2021. Rancang Bangun Kendali Tekanan Uap Air pada Tangki Pemanas Menggunakan Pengendali PID Berbasis PLC. Universitas Pancasila.

Biodata



Nama : Diki Wahyudi
TTL : Alur Gading, 07 April 2000
Agama : Islam
Alamat : Batam, Sungai Beduk, Winner Sweet Home Blok Cluster No.63 Tanjung Piayu, Kota Batam.
Email : dikiwahyu0704@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMA/SMK : SMKN 2 Langsa
: SMP : SMPN 10 Langsa

Lampiran 1

Tabel 15. Deviasi, Ketidakpastian dan % Error dari masing-masing ketinggian air

Ketinggian Air (cm)	Deviasi	Ketidakpastian	% Error
0	0,742327373	0,234744527	0
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0,527046277	0,166666667	16,66666667
4	0,483045892	0,152752523	17,5
5	0	0	20
6	0,527046277	0,166666667	25
7	0,421637021	0,133333333	25,71428571
8	0	0	25
9	0,527046277	0,166666667	27,77777778
10	0,421637021	0,133333333	28
11	0	0	27,27272727
12	0,421637021	0,133333333	26,66666667
13	3,381321241	1,069267662	6,923076923
14	0,483045892	0,152752523	16,42857143
15	0	0	13,33333333
16	0,483045892	0,152752523	10,625
17	0	0	5,882352941
18	0	0	5,555555556
19	0,421637021	0,133333333	4,210526316
20	0,516397779	0,163299316	2
21	0	0	0
22	0,527046277	0,166666667	2,272727273
23	0,421637021	0,133333333	3,47826087
24	0	0	4,166666667

25	0,527046277	0,166666667	6
26	0,527046277	0,166666667	5,769230769
27	0	0	7,407407407
28	2,213594362	0,7	11,78571429
29	0,527046277	0,166666667	12,06896552
30	0,316227766	0,1	10,33333333
31	0	0	9,677419355
32	0,516397779	0,163299316	8,125
33	0,421637021	0,133333333	6,666666667
34	0,316227766	0,1	5,588235294
35	0,483045892	0,152752523	4,857142857
36	0,567646212	0,179505494	3,055555556
37	0,316227766	0,1	2,432432432
38	0,421637021	0,133333333	2,105263158
39	0	0	0
40	0	0	0

Lampiran 2



Gambar 76. Fisik Produk Monitor dan Kontrol Couple Tank Berbasis IoT