PROYEK AKHIR - VE 190834

SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID

NEFRI DENIANTO
NRP. 10311710000097

Dosen Pembimbing

Joko Priambodo, S.T.M.T
Imam Wahyu Farid, S.T., M.T.
Fajar Pradana Putra, S.T.

Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

PROYEK AKHIR – VE190834

SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID

NEFRI DENIANTO
NRP. 10311710000097

Dosen Pembimbing

Joko Priambodo, S.T.M.T
Imam Wahyu Farid, ST., MT.
Fajar Pradana Putra, ST

Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

FINAL PROJECT – VE190834

WATER COOLANT CONTROL SYSTEM WITH PID METHOD

NEFRI DENIANTO
NRP. 10311710000097

Supervisors

Joko Priambodo, S.T.M.T
Imam Wahyu Farid, ST., MT.
Fajar Pradana Putra, ST

Electrical and Automation Engineering Department
Vocation Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

PERNYATAAN KEASLIAN PROYEK AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun kesuluruhan Proyek Akhir saya dengan judul:

"SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID"

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, … Juni 2021

Nefri Denianto

NRP.10311710000097

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Elektro Otomasi
Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
Nefri Denianto
NRP. 10311710000097

Menyetujui,

Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
Joko Priambodo, S.T.M.T	**Imam Wahyu Farid, S.T., M.T.**	**Fajar Pradana Putra, ST**
NPP.1992202011021	**NPP.197302222002121001**	**NIP.130099**

SURABAYA

AGUSTUS, 2021

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID

Nama : Nefri Denianto
NRP : 10311710000097
Pembimbing I : Joko Priambodo, S.T.M.T
Pembimbing II : Imam Wahyu Farid, ST., MT.
Pembimbing III : Fajar Pradana Putra, ST

ABSTRAK

Dalam proses *milling*, mesin CNC membutuhkan suatu cairan pendingin untuk mencegah agar komponen yang dipotong tidak mengalami kerusakan akibat korosi karena suhu yang terlalu panas. Masalah yang kami dapatkan di industri adalah kurangnya sistem yang mendukung untuk pengontrolan *water coolant* pada proses *milling* menjadikan kurang akurat dalam pengisian *water coolant* maupun cairan *coolant* murni.

Dalam pengujian ini, pembahasan berfokus pada cairan *coolant*. Akan tetapi, karena sensor pendeteksi kosentrasi tidak kompatibel maka cairan tersebut diganti dengan air garam. Metode pengambilan data yang kami pakai yaitu regresi linier untuk sensor ultrasonik dan untuk sensor salinitas menggunakan metode *scalling*, sedangkan untuk metode pengendaliannya menggunakan PID kontroler dengan penalaan *Ziegler-Nichols 1*.

Dari hasil penelaan didapatkan nilai PID yaitu Kp = 17,24, Ki = 410,47 dan Kd = 0,18. Pengujian kedua adalah dengan hanya menggunakan parameter PI yaitu Kp = 12,9 dan Ki = 204,76. Dari hasil perbandingan PID, PI, dan *Tunning otomatis*, PID kontroler lebih unggul, meskipun hanya dengan perbedaan 0,1 dan 0,2 cm pada level dan selisih 1 % pada konsentrasi *coolant.* Akan tetapi, jika perbandingan dengan menggunakan tenaga manusia atau manual, metode PID kontroler lebih akurat.

Kata kunci— *coolant*, PID kontroler, regresi linier, salinitas, *scalling*, *Ziegler-Nichols.*

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

WATER COOLANT CONTROL SYSTEM WITH PID METHOD

Name : Nefri Denianto
NRP : 10311710000097
Supervisor I : Joko Priambodo, S.T.M.T
Supervisor II : Imam Wahyu Farid, ST., MT.
Supervisor III : Fajar Pradana Putra, ST

ABSTRACT

In the milling process, CNC machines require a coolant to prevent the cut components from being damaged by corrosion due to overheating. The problem we get in the industry is the lack of a system that supports water coolant control in the milling process, making it less accurate in filling water coolant and pure coolant liquid.

In this test, the discussion focuses on the coolant fluid. However, because the concentration detection sensor is not compatible, the liquid is replaced with salt water. The data collection method that we use is linear regression for the ultrasonic sensor and for the salinity sensor using the scaling method, while for the control method using a PID controller with Ziegler-Nichols tuning 1.

From the results of the analysis, the PID value is Kp = 17.24, Ki = 410 .47 and Kd = 0.18. The second test is to use only the PI parameters, namely Kp = 12.9 and Ki = 204.76. From the comparison results of PID, PI, and automatic tuning, the PID controller is superior, although only with a difference of 0.1 and 0.2 cm in the level and a difference of 1% in the coolant concentration. However, if the comparison is using human or manual labor, the PID controller method is more accurate.

Keywords— *coolant, linear regression, PID controller, salinity, scaling, Ziegler-Nichols.*

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya bagi penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul "SISTEM PENGONTROL *WATER COOLANT* DENGAN METODE PID" sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Diploma (D4) pada Fakultas Vokasi Derpartemen Teknik Elektro Otomasi Program Studi Teknik Rekayasa Otomasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan buku serta perancangan alat Proyek Akhir ini banyak hambatan dan rintangan yang penulis hadapi, namun pada akhirnya dapat melalui semua itu berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua yang selalu memberikan dukungan, do'a, motivasi dan juga materi.
2. Bapak Joko Priambodo, S.T.M.T dan Bapak Imam Wahyu Farid, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu penulis dalam memberikan bimbingan dan arahan selama kegiatan proyek akhir berlangsung.
3. Bapak Fajar Pradana Putra, ST selaku pembimbing industri di PT. Dirgantara Indonesia.
4. Bapak Imam Arifin, ST., MT. selaku Kepala Departemen Teknologi Rekayasa Otomasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Ir. Joko Susila, MT., selaku Kepala Laboratorium PLC dan Sistem Kontrol Supervisori.
6. Bapak dan Ibu dosen dan staff akademik Departemen Teknologi Rekayasa Otomasi.
7. Serta teman yang sering berkunjung untuk membantu menyelesaikan proyek akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwasannya dalam penulisan buku proyek akhir ini masih terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan dari penulis. Untuk itu kritik dan saran yang bermanfaat dari pembaca begitu diharapkan. Demikian kata pengantar ini dibuat, semoga dapat memberikan manfaat, khususnya bagi diri pribadi penulis dan pembaca pada umumnya.

Surabaya, 25 April 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Relevansi 3
1.5. Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1. Penelitian Terdahulu 5
2.2. PID *Controller* 6
2.2.1. *Proportional Control* 7
2.2.2. *Integral Control* 8
2.2.3. *Derivative Control* 8
2.3. Metode *Ziegler-Nichols* 9
2.4. Mesin CNC DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U 11
2.5. *Coolant* Mesin CNC 11
2.7. Sensor Pengukur Konsentrasi *Coolant* 15
2.8. Sensor Ultrasonik 16
2.9. *Power Supply* 17
2.10. *Driver* Motor 18
2.11. Pompa Air 19
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI 21
3.1. Desain Arsitektur Sistem 21
3.1.1. *Board* Arduino Uno 21
3.1.2. *Power Supply* 12V 5A 22
3.1.3. Sensor Salinitas 23
3.1.4. Sensor HCSR04 24
3.1.5. *Driver* Motor L298N 24
3.1.6. *Mini Water Pump* 25
3.1.7. LCD (*Liquid Crystal Display*) 26

3.2. Diagram Alir Sistem.....27
3.3. Blok Diagram Sistem 29
3.4. Desain Elektrik Keseluruhan Sistem 30
3.4.1. *Wiring* LCD 31
3.4.2. *Wiring* Sensor Ultrasonik.....32
3.4.3. *Wiring* Sensor Salinitas.....32
3.4.4. *Wiring* Aktuator 33
3.5. Desain Mekanik Alat.....34
3.5.1. Tampungan Besar 35
3.5.2. Tampungan Kecil.....36
3.5.3. Panel Box.....36
3.6. Metode PID *Controller* 37
3.6.1. *Tuning* Manual.....38
3.6.2. Metode *Ziegler-Nichols* 1 38
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS 41
4.1. Pengujian Sensor Ultrasonik 41
4.1.1. Kalibrasi Sensor Ultrasonik 43
4.1.2. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik 47
4.2. Pengujian Sensor Salinitas 50
4.2.1. Kalibrasi Sensor Salinitas 53
4.2.1. Pengujian Akurasi Sensor Salinitas 55
4.3. Pengujian PID 56
4.3.1. Metode *Ziegler-Nichols* 1 56
4.3.2. Metode *Ziegler-Nichols* PI.....60
4.3.3. *Tunning Automatically*.....62
4.4. Perbandingan Dengan dan Tanpa PID 64
4.5. Perbandingan PI dan PID 64
BAB V PENUTUP 67
5.1. Kesimpulan 67
5.2. Saran.....68
DAFTAR PUSTAKA.....69
LAMPIRAN 71
Lampiran A: Proses Pengujian.....71
Lampiran B : Datasheet Sensor Salinitas.....77
Lampiran C: Datasheet Sensor Ultrasonik.....81
BIODATA PENULIS.....85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Blok PID Controller 7
Gambar 2. 2 Nicholas Ziegler PID plant..... 9
Gambar 2. 3 Kurva Tanggapan Berbentuk S 10
Gambar 2. 4 Mesin CNC..... 11
Gambar 2. 5 Proses Milling 12
Gambar 2. 6 Jenis Sensor Salinitas 15
Gambar 2. 7 Jenis Sensor Ultrasonik 16
Gambar 2. 8 Jenis Power Supply 18
Gambar 2. 9 Jenis Driver Motor 18
Gambar 2. 10 Jenis Pompa Air 20
Gambar 3. 1 Desain Arsitektur Sistem..... 21
Gambar 3. 2 Power Supply 12V 5A..... 23
Gambar 3. 3 Sensor Salinitas 23
Gambar 3. 4 Sensor Ultrasonik 24
Gambar 3. 5 Driver Motor L298N 25
Gambar 3. 6 Mini Water Pump 26
Gambar 3. 7 LCD 20x4..... 26
Gambar 3. 8 Diagram Alir Sistem..... 27
Gambar 3. 9 Diagram Blok Kontrol Level..... 29
Gambar 3. 10 Diagram Blok kontrol Konsentrasi Coolant 30
Gambar 3. 11 Desain Elektrik Sistem 31
Gambar 3. 12 Wiring LCD..... 32
Gambar 3. 13 Wiring Sensor Ultrasonik..... 32
Gambar 3. 14 Wiring Sensor Salinitas..... 33
Gambar 3. 15 Wiring Aktuator 34
Gambar 3. 16 Desain Mekanik Alat..... 34
Gambar 3. 17 Realisasi Desain Alat..... 35
Gambar 3. 18 Tampungan Besar..... 36
Gambar 3. 19 Tampungan Kecil 36
Gambar 3. 20 Panel Box 37
Gambar 3. 21 Diagram Blok PID Controller 38
Gambar 3. 22 Water Coolant Level System..... 39
Gambar 4. 1 Pengujian Sensor Ultrasonik 42
Gambar 4. 2 Pembacaan Sensor Ultrasonik 43
Gambar 4. 3 Grafik Karakteristik Sensor Ultrasonik 46
Gambar 4. 4 Grafik Akurasi Sensor Ultrasonik 50

Gambar 4. 5 Refraktometer 51
Gambar 4. 6 Pengujian dan Pembacaan Refraktometer.....51
Gambar 4. 7 Serial Monitor Sampel Air Bio 52
Gambar 4. 8 Sampel Konsentrasi Coolant.....53
Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Sensor Salinitas.....55
Gambar 4. 10 Grafik Respon Sistem 56
Gambar 4. 11 Hasil Tunning PID Ziegler-Nichols.....58
Gambar 4. 12 Risetime 59
Gambar 4. 13 Setling Time.....60
Gambar 4. 14 Hasil dengan Parameter PI.....61
Gambar 4. 15 Diagram Blok Simulink 62
Gambar 4. 16 Tunning Parameter.....63
Gambar 4. 17 Hasil Dari Tunning Otomatis.....63
Gambar 4. 18 Hasil Salinitas PI.....65
Gambar 4. 19 Hasil Salinitas PID.....66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penalaan Ziegler-Nichols Metode Pertama 10
Tabel 3. 1 Spesiffikasi Arduino Uno..... 22
Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Ultrasonik 42
Tabel 4. 2 Perhitungan Metode Regresi Linier 44
Tabel 4. 3 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik 47
Tabel 4. 4 Pengujian Karakteristik Sensor Salinitas 52
Tabel 4. 5 Pengujian Sampel Coolant 54
Tabel 4. 6 Penalaan Ziegler-Nichols Metode 1 57
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Ziegler-Nichols 1..... 57

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada pengerjaan proyek akhir ini kami mengambil studi kasus di PT. Dirgantara Indonesia. Pada area produksi di PT. Dirgantara Indonesia, ada beberapa mesin CNC yang memproduksi komponen pesawat. Mesin CNC DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U merupakan salah satu dari beberapa mesin tersebut, mesin CNC ini memproduksi part *Hinge ribe 4* untuk pesawat Air Bus A380. Dalam proses *milling*, mesin CNC membutuhkan suatu cairan pendingin (*coolant*) untuk mencegah agar komponen yang dipotong tidak mengalami kerusakan akibat korosi karena suhu yang terlalu panas. Akan tetapi, pada kondisi lapangan kurangnya sistem yang mendukung untuk pengontrolan *water coolant* pada mesin ini menjadikan proses produksi kurang akurat dalam pengisian *water coolant* maupun pengisian cairan *coolant* murni.

Pada kasus ini alasan mengapa proses pengisian atau *top up coolant* dan *water coolant* kurang akurat, dikarenakan pada kondisi lapangan di PT. Dirgantara Indonesia proses pengontrolan *water coolant* pada mesin CNC tersebut, mulai dari pengecekan level *water coolant* pada tangki mesin dan tingkat konsentrasi *coolant*. Semua proses itu masih dilakukan dengan manual. Seperti contoh saat *level* pada tangki mesin mulai menurun, menurut aturan yang diterapkan bahwa setiap hari saat mesin akan dijalankan atau beroperasi harus ada pengecekan *level water coolant* dan konsentrasi *coolant* pada tangki mesin. Maka setelah melakukan pengecekan operator mengambil drum yang berisi *water coolant* dan mengisi hingga penuh kembali. Hal tersebut tentu saja memakan waktu dan tenaga yang lebih.

Untuk mengatasi hal tersebut solusi yang dapat diterapkan yaitu dengan membuat sistem yang dapat melakukan pengecekan dan pengisian secara otomatis . Sistem yang akan dibangun untuk tahap pertama menggunakan sensor ultrasonik sebagai masukkan untuk menggantikan

proses manual pengecekan *level water coolant* dengan pompa sebagai aktuatornya, tahap kedua adalah dengan menggunakan sensor konduktivitas untuk mendeteksi tingkat konsentrasi *coolant* pada tangki mesin, saat konsentrasi *coolant* berada dibawah 5% maka secara otomatis sistem akan menambahkan bijih *coolant* pada tangki mesin dengan menggunakan pompa. Pada sistem ini menggunakan metode PID (*Proportional Integral Derivative*) untuk mengontrol kecepatan motor pompa. Pada proyek akhir yang akan kami kerjakan ini adalah bentuk prototype dari gambaran sistem tersebut yang akan dibuat semirip mungkin agar pada pengaplikasian lapangannya tidak terjadi perubahan yang signifikan.

1.2. Rumusan Masalah

Pada proses produksi pasti banyak mesin besar yang digunakan, apalagi dalam proses produksi pesawat yang memiliki *sparepart* berukuran besar maupun kecil seperti contoh pada mesin CNC DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U yang memproduksi part *Hinge ribe 4* untuk pesawat Air Bus A380. Masalah yang ada pada mesin ini adalah proses pengontrolan *water coolant* yang belum terotomatisasi dengan kata lain proses tersebut masih dilakukan dengan cara yang manual, mulai dari proses pengecekan *level water coolant* pada tangki mesin yang apabila volume *water coolant* berkurang akan ada penambahan *water coolant* hingga volume terpenuhi, kemudian pengecekan konsentrasi *coolant,* yang secara manual diukur dengan menggunakan refraktometer yang apabila konsentrasinya berkurang maka perlu ditambahkan bijih *coolant* hingga konsentrasi sesuai.

1.3. Tujuan

Berdasarkan dengan uraian masalah pada latar belakang dan rumusan, tujuan pengerjaan proyek akhir ini adalah membuat suatu sistem yang mampu berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan mampu mengatasi masalah yang terjadi dan dapat menerapkan metode PID tersebut sebagai salah satu yang dapat digunakan untuk masalah tersebut

yaitu mampu mengatasi masalah ke akuratan dalam proses *top up coolant* maupun *water coolant.*

1.4. Relevansi

Proyek ini adalah semoga dapat diimplementasikan pada kondisi lapangannya. Pada akhir proyek ini akan dibuat sebuah *prototype* dan sistem yang dibangun dapat berjalan sesuai yang diinginkan.

Kami juga berharap dengan proyek ini bisa berjalan baik dan sesuai, pihak PT. Dirgantara Indonesia dapat merealisasikan ide ini untuk mengurangi waktu dan tenaga untuk pengontrolan *water coolant* tersebut.

1.5. Sistematika Penulisan

Buku Proyek Akhir ini ditulis dengan menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

- BAB I : PENDAHULUAN

  Pada bab ini menjelaskan mengapa kami mengambil judul Proyek Akhir ini, masalah apa yang terjadi sehingga perlu untuk dibuatkan solusinya serta sistematika penulisan buku ini (lebih spesifik ke apa yang kamu kerjakan)
- BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

  Pada bab ini menjelaskan tentang teori apa saja yang dipakai dalam penyusunan laporan ini serta kita menjelaskan tentang penelitian yang sebelumnya ada dan memakai teori yang sama seperti yang digunakan dalam penelitian ini.
- BAB III : PERANCANGAN DAN IMPLEMNTASI

  Pada bab ini menjelaskan tentang awal bagaimana alat ini dapat tersusun hingga bisa mendapatkan hasil untuk dianalisis. Bab ini berisi desain dari keseluruhan sistem, *flowchart* dan desain elektrik, sekaligus menjelaskan komponen yang digunakan satu per satu serta alasan mengapa memilih komponen tersebut. Dan beberapa gambar dari hasil percobaan yang dilakukan.
- BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISIS

  Pada bab ini menjelaskan tentang bagaimana proses pengambilan data tersebut hingga mendapatkan hasil. Dan melakukan percobaan pada keseluruhan sistem kemudian dianalisa.

- BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan pada alat yang telah diakukan dan juga saran untuk kedepannya bagaimana alat ini dapat dikembangkan lagi.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Proyek akhir yang kami kerjakan ini bertujuan untuk membantu menangani masalah yang terjadi pada PT. Dirgantara Indonesia, lebih tepatnya pada mesin CNC yang digunakan untuk memproduksi bagian-bagian pesawat. Sebelumnya belum pernah ada penelitian tentang pengontrol *water coolant* pada mesin CNC secara otomatis di PT. Dirgantara Indonesia. Akan tetapi, penelitian yang serupa tentang mengendalikan motor DC dengan meneggunakan kontroler PID sudah ada beberapa penelitian yang dilakukan. Berikut ada lima penelitian serupa yang dapat penullis temukan.

Penelitian pertama berjudul "Kontrol Kecepatan Motor DC dengan Metode PID menggunakan *Visual Basic* 6.0 dan Mikrokontroler *ATmega* 16". Penelitian tersebut dilakukan oleh Muhammad Rizki Setiawan, M. Aziz Muslim dan Goegoes Dwi Nusantoro. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat suatu perangkat lunak yang mampu melakukan monitoring, pengiriman *set point* dan parameter PID pada Mikrokontroler untuk menjalankan driver[1].

Penelitian yang kedua berjudul "Alat Penentu Parameter PID dengan Metode *Ziegler-Nichols* Pada Sistem Pemanas Air". Penelitian ini dilakukan oleh Rachmat Agung H, Muhammad Rivai, dan Harris Pringadi. Dalam penelitian tersebut membahas tentang bagaimana membuat sebuah alat yang bisa mengetahui *response* dari suatu sistem yang mana pada percobaan ini dilakukan dengan menggunakan pemanas air. Dari penelitian yang dilakukan untuk membuat alat penentu parameter PID pada sistem pemanas air dengan sensor LM35 dapat dihasilkan nilai dari Kp, Ki, dan Kd berdasar pada rumus *open loop* Ziegler-Nichols. Nilai Kp, Ki dan Kd bergantung pada besar kecilnya gradien garis singgung pada grafik *output*[2].

Penelitian yang ketiga berjudul “Penentuan Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols untuk Pengendalian *Flow Indicator Controller* 12-FIC-219 pada *Control Valve* 12-FV-219”. Penelitian tersebut dilakukan oleh Safira Putri Wibowo dan Rika Novita. Penelitian tersebut membahas tentang cara kerja pengendalian aliran (*flow*) pada 12 – FIC–219 adalah apabila aliran naik maka *flow transmitter* akan mengirimkan sinyal 4 – 20 mA ke controller 12 – FIC – 219 sebagai process value (PV) yang kemudian nilai tersebut akan dibandingkan dengan set point (SP) dimana menghasilkan nilai error = PV – SP[3].

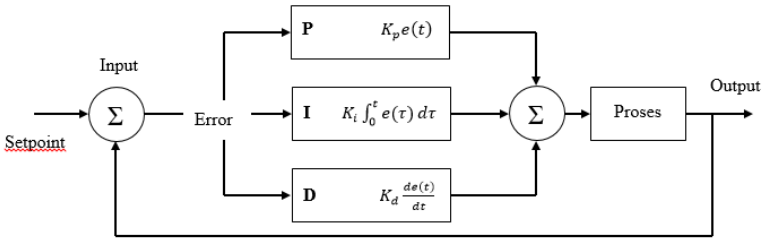
Penelitian yang keempat berjudul “Implementasi Perancangan Kendali PID dengan Metode *Ziegler-Nichols* 1 pada *Plant* Kendali Ketinggian Air”. Penelitian tersebut dilakukan oleh Eksanata Prawira Sidiq Zaelani. Dalam penelitian tersebut membahas tentang melakukan *tuning* dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* pada *plant* kendali ketinggian air dan hasilnya *tuning* ZN-1 memiliki keunggulan pada *rise-timenya* yaitu sebesar 60.27 detik, sedangkan tuning manual 72.3 detik .*Tuning* manual memiliki keunggulan pada settling-time dan error steady state yaitu sebesar 157.9 detik dan 3.8% error, sedangkan tuning ZN-1 sebesar 198.0874 detik dan 8.39% error[4].

Penelitian yang kelima berjudul “Implementasi Kendali PID Penalaan *Ziegler-Nichols* Menggunakan Mikrokontroler”. Penelitian tersebut dilakukan oleh Zaidir Jamal. Dalam penelitian tersebut membahas tentang penerapan metode PID *Ziegler-Nichols* dalam perancangan konveyor yaitu untuk mengatur kecepata motor dari konveyor tersebut. Hasilnya kendali PID menunjukan kinerja yang baik, disini dikatakan baik karena nilai dari *overshoot* yang terjadi antara 1 cm atau 0,05% *risetime.* Yang dimana hal ini menunjukan 280 detik dan IAE rata-rata 3,1733[5].

2.2. PID *Controller*

PID (Proporsional, Integral dan Derivatif) *controller* merupakan suatu metode yang dapat digunakan sebagai pengendali. Sebagian besar pengontrol di industri saat ini menggunakan skema PID atau PID yang

telah dimodifikasi. Kontroler PID analog sebagian besar adalah tipe hidrolik, pneumatik, listrik, dan elektronik atau kombinasinya. Saat ini, banyak dari ini diubah menjadi bentuk digital melalui penggunaan mikroprosesor. Pada Gambar 2.1 berikut ini merupakan diagram blok dari PID kontroler.



Gambar 2. 1 Diagram Blok PID *Controller*

Untuk bentuk matematisnya sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \qquad (2.1)$$

Dengan K_p, K_i, dan K_d, semuanya bernilai positif, menandakan koefisien untuk proporsional, integral, dan derivatif.

2.2.1. *Proportional Control*

Pengontrol integral berfungsi untuk menghilangkan *steady-state error* menjadi nol. Jika sebuah plant tidak mempunyai unsur integrator (1/s), pengontrol proposional tidak mampu menjamin *output* sistem akan tepat sesuai respon yang diinginkan, sehingga dibutuhkan pengontrol integral. Secara sederhana koefisien P adalah nilai untuk kesalahan saat ini. Contohnya jika kesalahan besar dan positif, maka keluarannya juga akan seperti itu. Persamaan kontrol integral dirumuskan sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) \qquad (2.2)$$

Dari persamaan (2.2), *u(t)* adalah merupakan nilai keluaran yang relatif terhadap waktu *(t)*, Kp merupakan *gain porportional*, e adalah nilai dari *response error*.

2.2.2. *Integral Control*

Pengontrol integral berfungsi untuk menghilangkan *steady-state error* menjadi nol. Jika sebuah plant tidak mempunyai unsur *integrator* (1/s), pengontrol proposional tidak mampu menjamin *output* sistem akan tepat sesuai respon yang diinginkan, sehingga dibutuhkan pengontrol integral. Secara sederhana koefisien I adalah nilai untuk kesalahan sebelumnya. Contoh, jika keluaran saat ini kurang besar, maka kesalahan akan terakumulasi terus menerus, dan kontroler akan merespon dengan keluaran lebih tinggi. Persamaan kontrol integral dirumuskan sebagai berikut:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau \tag{2.3}$$

Dari persamaan (2.3), *u(t)* adalah merupakan nilai keluaran yang relatif terhadap waktu *(t)*, Ki merupakan *gain integral*, e adalah nilai dari *response error*.

2.2.3. *Derivative Control*

Besar *output* dari pengontrol derivatif memiliki sifat seperti operasi diferensial pada umumnya. Pengontrol derivatif menggunakan kecepatan perubahan sinyal kesalahan sebagai parameter pengontrol. Apabila tidak ada perubahan sinyal error, maka *output* dari kontrol derivatif tidak akan berubah. Secara sederhananya koefisien D adalah nilai untuk kemungkinan kesalahan mendatang, berdasarkan pada rate perubahan setiap waktu[6]. Persamaan kontrol derivatif dirumuskan sebagai berikut:

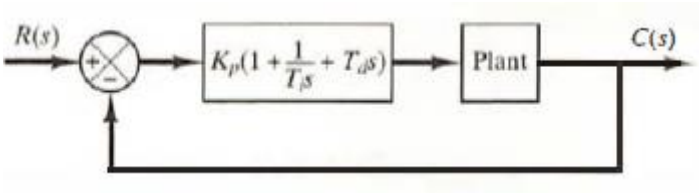
$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.4}$$

Dari persamaan (2.4), *u(t)* adalah merupakan nilai keluaran yang relatif terhadap waktu *(t)*, Kd merupakan *gain derivative*, e adalah nilai dari *response error*.

Karena sebagian besar PID *controller* disesuaikan dengan *plant* yang akan dibuat, ada banyak jenis aturan penyetelan (*tunning*) yang berbeda dalam beberapa literatur. Dengan melakukan *tunning* ini, PID *controller* dapat disetel dengan tepat. Juga, metode *tunning* otomatis telah dikembangkan, dan beberapa PID *controller* memiliki kemampuan *tunning* otomatis on-line. Banyak metode praktis untuk fungsi alih (dari operasi manual ke operasi otomatis) dan penjadwalan gain tersedia secara komersial. Kegunaan kontrol PID terletak pada penerapan umum untuk sebagian besar sistem kontrol. Di bidang sistem kontrol proses, skema kontrol PID dasar dan yang dimodifikasi telah membuktikan kegunaannya dalam memberikan kontrol yang memuaskan, meskipun mungkin tidak memberikan kontrol yang optimal dalam banyak situasi tertentu. Parameter kontrol ini bertindak atas kesalahan atau penyimpangan antara titik setel dan variabel proses.

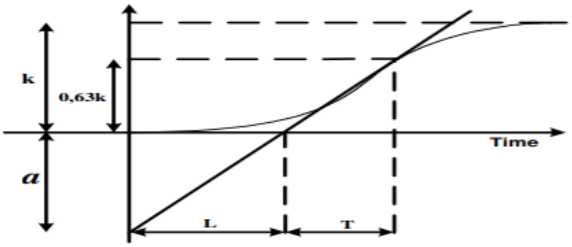
2.3. Metode *Ziegler-Nichols*

Proses pemilihan parameter pengontrol untuk memenuhi spesifikasi kinerja yang diberikan dikenal sebagai *control tunning*. Ziegler dan Nichols menyarankan aturan untuk *tunning* PID *contoller* (untuk menetapkan nilai Kp, Ti, dan Td,) berdasarkan percobaan dengan *step responses* atau berdasarkan nilai Kp yang menghasilkan stabilitas marginal bila hanya aksi kontrol proporsional yang digunakan. Aturan *Ziegler-Nichols*, masih bisa digunakan meskipun model matematika dari sistem (*plant*) tidak diketahui[7]. Pada Gambar 2.2 berikut ini merupakan diagram blok dari metode *Ziegler-Nichols*.



Gambar 2. 2 *Nicholas Ziegler* PID *plant*

Penelaan dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols* ada 2. Akan tetapi pada pembahasan kali ini kami hanya akan membahas metode yang pertama. Metode pertama *Ziegler-Nichols* didasarkan pada *response plant* terhadap masukan tangga dalam kalang terbuka. *Plant* yang tidak mempunyai *integrator*, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S pada Gambar 2. 3 berikut ini merupakan kurva tanggapan plant digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu.



Gambar 2. 3 Kurva Tanggapan Berbentuk S

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameterparameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris *Zielger-Nichols*. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penalaan *Ziegler-Nichols* Metode Pertama

Pengendali	**Kp**	**Ti**	**Td**
P	T/L	∞	0
PI	0,9T/L	L/0,3	0
PID	1,2T/L	2L	0,5L

2.4. Mesin CNC DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U

Mesin CNC merupakan mesin penting dalam produksi di PT. Dirgantara Indonesia. Mesin ini sangat besar peranannya, karena merupakan mesin yang memproduksi secara langsung komponen-komponen pesawat terbang yang berukuran kecil hingga sedang dengan kecepatan tinggi. Salah satu mesin CNC yang ada pada proses produksi di PT. Dirgantara Indonesia adalah DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U yang memproduksi *sparepart* dari pesawat Air Bus A380[8]. Pada Gambar 2.4 berikut ini merupakan tampilan dari mesin CNC yang digunakan untuk memotong bagian pesawat.

Gambar 2. 4 Mesin CNC

2.5. *Coolant* Mesin CNC

Secara umum *coolant* adalah media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan benda kerja dan alat potong pada saat proses permesinan. Digunakan pula untuk melumasi alat potong sehingga dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. *Coolant* merupakan cairan hasil campuran *ethylene* atau *propylene glycol* dan air. Secara umum rasio perbandingan zat mineral itu berkisar 50/50. Penggantian cairan *coolant* perlu dilakukan karena pemakaian *coolant* yang terlalu lama menyebabkan timbunan pasir. Pasir yang terlalu berlebihan sanggup menutup sistem saluran pendinginan. Penggantian ini harus dilakukan

karena dalam fase tertentu, kualitas *coolant* bisa menurun akibat panas dan lingkungan yang kotor. Selain itu, korosi pada radiator juga bisa mengakibatkan terjadinya pengendapan kotoran pada *coolant*. Pada Gambar 2. 5 berikut ini merupakan contoh penggunaan *water coolant* pada proses *milling*[9].

Gambar 2. 5 Proses *Milling*

Apabila penggantian *coolant* tidak dilakukan, maka pengendapan kotoran yang terlalu banyak berpotensi menutup sistem saluran pendingin, sehingga menyebabkan arus pendinginan mesin terganggu. Bila hal ini terjadi, mesin mudah panas dan memicu mogok. Rentetan masalah lebih krusial pada mesin bisa terjadi. Adapun fungsi *coolant* pada mesin *milling* dan bubut secara umum adalah sebagai berikut:

1. Menurunkan temperatur pahat pada saat pemotongan.
2. Menurunkan gaya potong.
3. Memperpanjang umur pahat.
4. Melumasi elemen pembimbing (*ways*)
5. Memperhalus atau memperbaiki kualitas permukaan benda kerja.
6. Membersihkan geram dari bidang geram pada saat proses pemotongan.
7. Proteksi korosi pada permukaan benda kerja yang baru terbentuk.

Ada beberapa jenis *coolant* yang digunakan pada mesin *milling*. Berikut ini merupakan beberapa jenis *coolant* yang sering digunakan dalam industri logam atau permesinan.

1. Water Coolant

Water coolant adalah salah satu jenis *coolant* yang biasanya digunakan dan dikhususkan untuk pengerjaan benda-benda yang hanya mengalami proses permesinan (pemotongan) skala kecil, yang sedikit berpengaruh pada material total. Misal: digunakan untuk pengerjaan *facing* benda dengan material kecil.

2. Oil Coolant

Berkebalikan dengan *water coolant*, *Oil coolant* biasanya digunakan untuk pengerjaan benda yang mengalami *hard process*. Proses permesinan (pemotongan) biasanya berlangsung secara continou dan berefek besar pada material total. Misal: pengerjaan pada mesin *pfauter*.

3. Air Spray Coolant

Digunakan untuk pengerjaan benda-benda yang menghasilkan sisa pemotongan berupa serbuk, biasanya akan menyebabkan kerusakan jika menempel pada bagian mesin yang bergeser. Misal: pengerjaan material *brass* dan *cash*.

4. Water and Oil Coolant

Digunakan untuk pengerjaan material secara umum. Bisa digunakan untuk proses ringan maupun proses yang berat. Karena campuran antara oli dan air memiliki ketahanan panas yang baik dan ketahanan terhadap karat yang cukup baik. Misal: pengerjaan st.60 pada mesin VG45.

5. Ethanol Coolant

Ethanol coolant masih sangat jarang digunakan dalam proses permesinan, tetapi merupakan *coolant* yang ideal untuk *high speed* and *micro machining* karena viskositas ethanol yang lebih dari oli menjadikan

ethanol lebih mudah menjangkau bagian yang mengalami proses permesinan. Dikhususkan untuk material non-ferro. Misal: nillon.

6. Liquid Ice Coolant

Merupakan salah satu dari jenis *coolant* terbaru yang belum banyak digunakan. Sangat mudah larut dalam air, dan cocok digunakan untuk proses *metalworking*. Cocok untuk berbagai macam mesin mulai dari *milling*, *turning* dan juga *grinding*. Tidak beracun, tidak menyebabkan penyakit, dan tidak menimbulkan bau[9].

2.6. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan chip mikrokomputer yang secara fisik berupa sebuah IC (*Integrated Circuit*). Mikrokontroler biasanya digunakan pada sistem yang kecil, murah dan tidak membutuhkan perhitungan yang sangat kompleks seperti dalam aplikasi PC. Mikrokontroler bekerja berdasarkan program (perangkat lunak) yang ditanamkan didalamnya, dan program tersebut dibuat sesuai dengan aplikasi yang diinginkan[10].

Adapun jenis-jenis dari mikrontroler yang biasa dipakai dalam menjalankan program sebagai berikut:

1. Mikrokontroler 8051

Mikrokontroler 8051 atau biasa disebut MCS-51merupakan jenis mikrokontroler 8-bit yang terkenal. Mikrokontroler ini memiliki memori program internal (on-chip ROM) dengan ukuran 4 kByte, RAM internal dengan ukuran 128 Byte.

2. Mikrokontroler PIC

PIC diproduksi oleh Microchip, yang merupakan salah satu *supplier* mikrokontroler 8-bit terbesar. PIC dibagi menjadi tiga secara garis besar yaitu: *base line, mid-range* dan *high-performance.* Diluar tiga jenis tersebut Microchip juga memproduksi PIC24 16-bit dengan spesifikasi memori program 4 kByte sampai 1024 kByte. Mikrokontroler ini tersedia dalam bentuk IC 14-144 pin.

3. Mikrokontroler AVR

Mikrokontroler AVR diproduksi oleh Atmel. Menurut Atmel, singkatan AVR tidak berarti apa-apa dan hanya sebagai nama. Atmel menyediakan mikrokontroler AVR 8-bit maupun 32-bit. Ada lima jenis mikrokontroler pada jenis AVR. Berikut merupakan jenisnya: *tinyAVR* (seri Atiny, 8-bit), *megaAVR* (seri Atmega, 8-bit), *XMEGA* (seri Atxmega, 8-bit), UC3 (32-bit) dan yang terakhir adalah *Otomotive AVR* (8-bit, 8/16-bit, 32-bit) dengan memori sampai dengan 512kByte dan IC sampai 44 pin.

4. Arduino

Arduino merupakan *prototyping platform* yang bersifat *open-source*, menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan. *Hardware* dan *software* Arduino didesain agar mudah digunakan oleh pemula yang tidak memiliki pengalaman *programing* dan pengetahuan tentang elektronika. *Hardware* Arduino berupa papan pengembangan yang berisi mikrokontroler AVR buatan Atmel. *Software* Arduino terdiri dari bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment* (IDE) yang gratis untuk diunduh dan digunakan[10].

2.7. Sensor Pengukur Konsentrasi *Coolant*

Salah satu cara untuk menentukan nilai dari konsentrasi *coolant* adalah dengan sensor salinitas. Sensor ini bekerja sebagai alat ukur daya hantar listrik yang mana pada bagian probe sensornya berbahan stik stainless yang berfungsi sebagai penerima data dari bahan yang diuji. Pada Gambar 2. 6 berikut merupakan beberapa jenis sensor salinitas.

Gambar 2. 6 Jenis Sensor Salinitas

Dari jenis sensor tersebut kami memutuskan untuk memakai sensor salinitas. Dengan alasan lebih murah yaitu hanya 120ribu sedangkan untuk Vernier SAL-BTA dan *Digital Salinity Sensor* seharga 3 juta lebih, memang kualitas data yang dihasilkan lebih baik, akan tetapi harganya terlalu mahal. Sensor salinitas ini dapat langsung disambungkan dengan pin analog arduino maupun pin analog mikrokontroller lainnya, tanpa harus memakai modul penguat tambahan.

Untuk spesifikasi dari sensor salinitas ini berdasarkan *datasheet* yang ada, pada tegangan masukkan maksimal adalah 5V, tegangan operasionalnya diantara 3-4,7V. Untuk tegngan keluarannya berjenis ADC dengan nilai 0-1023.

2.8. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sebuah komponen elektronik yang dapat mendeteksi suatu objek atau benda dengan menggunakan gelombang suara. Sensor ini terdiri dari *transmitter* (pemancar) dan sebuah *receiver* (penerima). Cara kerjanya adalah pemancar akan mengeluarkan gelombang suara dan akan memantul jika gelombang tersebut mengenai suatu objek, pantulan itu nantinya akan ditangkap oleh penerima. Pada Gambar 2.7 berikut ini merupakan jenis dari sensor ultrasonik.

HCSR04 SRF06 DYP-ME007

Gambar 2. 7 Jenis Sensor Ultrasonik

Pada gambar tersebut ada tiga jenis sensor, yang pertama adalah HCSR04 dengan jarak yang dapat diukur akurat berdasarkan *datasheet* adalah 2 cm sampai 400 cm. Jenis sensor ini sering dipakai untuk perancangan alat sederhana. Yang kedua adalah SRF06 dengan jarak

yang dapat diukur akurat berdasarkan *datasheet* adalah 2 cm sampai 400 cm. Dan untuk sensor terakhir DYP-ME007 dengan jarak yang dapat diukur dengan akurat berdasarkan *datasheet* adalah 30 cm sampai 350 cm dan dilengkapi pelindung anti air. Dari ketiga sensor tersebut kami memilih untuk mengambil sensor yang lebih terjangkau yaitu HCSR04.

2.9. *Power Supply*

Power supply merupakan suatu komponen elektronik yang mengubah arus listrik bolak-balik menjadi arus listrik searah. *Power supply* menjadi bagian yang penting dalam dunia elektonika yang berfungsi sebagai sumber energi yang memasok energi berupa listrik untuk satu atau lebih beban listrik. Secara umum prinsip rangkaian *power supply* terdiri atas komponen utama yaitu transformator, dioda dan kapasitor. Beberapa komponen pendukung agar rangkaian tersebut dapat berfungsi dengan baik antara lain dengan adanya: saklar, sekering (*fuse*), lampu indikator, *jack* dan *plug*. Baik komponen utama maupun komponen pendukung lainnya sama- sama berperan penting dalam rangkaian *power supply*[11]. Adapun klasifikasi *power supply* berdasarkan fungsinya secara umum terbagi menjadi 3 meliputi:

1) *Regulated Power Supply* merupakan jenis p*ower supply* yang dapat menjaga kestabilan tegangan dan arus listriknya meskipun terdapat perubahaan atau variasi pada beban atau sumber listrik yakni tegangan dan arus masukkannya.
2) *Unregulated Power Supply* merupakan jenis p*ower supply* yang tegangan ataupun arus listriknya dapat berubah ketika beban berubah atau sumber listriknya mengalami perubahan.
3) *Adjustable Power Supply* merupakan jenis power supply yang tegangan ataupun arusnya dapat diatur sesuai kebutuhan dengan menggunakan sebuah perangkat elektronik lain seperti potensiometer dengan knob mekaniknya.

Pada Gambar 2.8 berikut ini merupakan beberapa contoh jenis dari penjelasan *power supply* yang sering digunakan pada alat elektronik di atas.

Gambar 2. 8 Jenis *Power Supply*

Pada Gambar 2.8 (1) adalah jenis *Regulated Power Supply*, untuk jenis yang kedua adalah (2) *Unregulated Power Supply* dan untuk jenis yang ketiga adalah (3) *Adjustable Power Supply*.

2.10. *Driver* Motor

Driver motor merupakan jenis komponen elektronika yang berfungsi untuk mengatur kecepatan dan arah putaran motor. Pada Gambar 2.9 berikut ini merupakan jenis-jenis driver motor yang sering digunakan.

Gambar 2. 9 Jenis *Driver* Motor

Pada gambar tersebut jenis driver TD860AH berdasarkan *datasheet* adalah Drive loncatan digital yang sepenuhnya serba guna berdasarkan DSP dengan algoritme kontrol tingkat lanjut. TD860AH adalah generasi terbaru dari kontrol motor stepper digital. Motor dapat berjalan dengan noise ekstra kecil, pemanasan rendah, gerakan halus Fitur

uniknya menjadikan TD860AH solusi ideal untuk aplikasi yang membutuhkan gerakan halus kecepatan rendah.

Pada jenis yang kedua BTS7960 adalah modul jembatan H arus tinggi yang terintegrasi penuh untuk aplikasi penggerak motor. Antarmuka ke mikrokontroler dibuat mudah oleh IC driver terintegrasi yang menampilkan *input* level logika, diagnosis dengan sensor arus, penyesuaian laju perubahan tegangan, pembangkitan waktu mati dan perlindungan terhadap suhu berlebih, tegangan lebih, tegangan kurang, arus lebih, dan korsleting. BTS7960 memberikan solusi yang dioptimalkan biaya untuk drive motor PWM arus tinggi yang dilindungi dengan konsumsi ruang papan yang sangat rendah.

Pada jenis yang ketiga Driver motor L298N merupakan module driver motor DC yang paling banyak digunakan atau dipakai di dunia elektronika yang difungsikan untuk mengontrol kecepatan serta arah perputaran motor DC. IC L298 merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang mampu mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC dan motor stepper. Pada IC L298 terdiri dari transistor-transistor logik (TTL) dengan gerbang nand yang berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan arah putaran suatu motor dc maupun motor stepper. Untuk dipasaran sudah terdapat modul driver motor menggunakan ic l298 ini, sehingga lebih praktis dalam penggunaannya karena pin I/O nya sudah terpackage dengan rapi dan mudah digunakan. Kelebihan akan modul driver motor L298N ini yaitu dalam hal kepresisian dalam mengontrol motor sehingga motor lebih mudah untuk dikontrol[12].

2.11. Pompa Air

Pompa air (*Water Pump*) merupakan salah satu alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (*fluida*) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa atau jenis saluran lainnya dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan hingga berlangsung terus menerus. Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian hisap *(suction*) dan bagian tekan

(*discharge*)[13]. Adapun klasifikasi pompa berdasarkan cara kerjanya ada dua antara lain:

1. Pompa Perpindahan Positif (*Positive Displacement Pump*)

Pompa perpindahan positif adalah jenis pompa yang memiliki cara kerja dengan menggunakan gaya tertentu sehingga volume fluida tidak berubah ketika masuk dari katup buka (*inlet valve*) hingga ke katup keluar (*outlet valve*). Karena cara kerja tersebut, kapasitas pompa ini dapat dipastikan berbanding lurus dengan jumlah putaran yang dilakukan setiap penggerak. Jenis pompa ini memiliki kelebihan untuk menghasilkan *power density* yang besar namun tetap menjaga kestabilan perpindahan fluida.

2. Pompa Dinamik (*Dynamic Pump*)

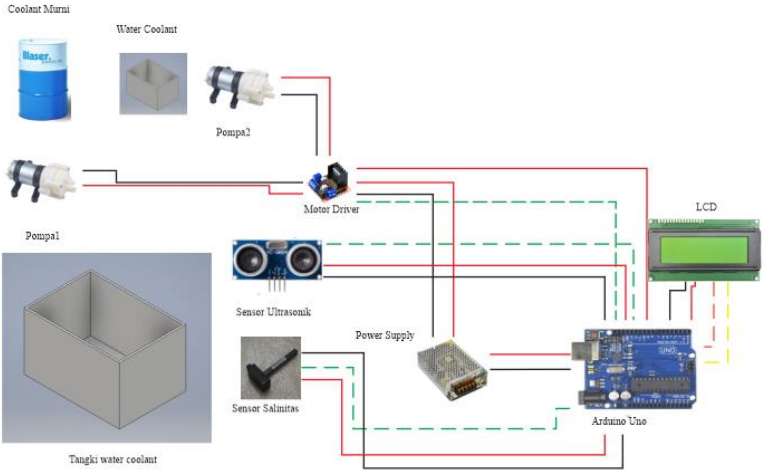
Berbeda dengan pompa perpindahan positif, pompa dinamik mampu menaikkan tekanan tanpa harus menambah volume fluida. Hal ini dikarenakan ruang kerja pompa dinamik yang tidak berubah selama proses itu terjadi. Selain itu, perubahan tekanan dapat dilakukan dengan merubah penampang aliran fluida. Pompa dinamik memiliki elemen utama yaitu rotor *impeller* yang mampu berputar dengan sangat cepat. Jenis pompa dinamik memang memiliki efisiensi yang rendah dibanding *positive displacement pump*, namun biaya perawatan pompa dinamik tidaklah mahal.

Gambar 2. 10 Jenis Pompa Air

BAB III
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1. Desain Arsitektur Sistem

Pada Gambar 3.1 berikut adalah desain keseluruhan sistem yang akan kami buat, untuk nantinya akan dilakukan pengujian.



Gambar 3. 1 Desain Arsitektur Sistem

Pada Gambar 3.1 yaitu desain arsitektur sistem memberikan gambaran sistem yang akan kami bangun. Dengan keterangan bahwa garis yang utuh dan tidak putus-putus merupakan sumber atau daya yang akan dialirkan ke seluruh komponen. Adapaun komponen yang kami gunakan dalam proses pembuatan sistem ini meliputi:

3.1.1. *Board* Arduino Uno

Board Arduino merupakan papan rangkaian elektronik open source, yang biasanya digunakan untuk membangun dan memprogram

elektronik. Arduino dapat mengirim serta menerima informasi berupa sinyal ke sebagian besar perangkat dan bahkan bisa mengirim informasi tersebut lewat internet. Dalam pemrogramannya Arduino menggunakan bahasa C++[14].

Dalam alat ini bagian kontrolernya kami menggunakan Arduino Uno. Kontroler ini memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesiffikasi Arduino Uno

Microcontroller	ATmega328
Operating Supply Voltage	5V
Digital I/O	14 pin
Analog I/O	6 pin
Flash Memory 32kb	0,5 kb digunakan untuk *bootloader*
SRAM	2 kb
Clock speed	16 Mhz

Dalam spesifikasinya, Arduino Uno memiliki 14 pin digital dan 6 untuk pin analog, dimana 6 diantara pin digital merupakan PWM, mengapa kami menggunakan Arduino Uno yaitu untuk sistem yang akan dibuat sendiri tidak membutuhkan terlalu banyak pin, yang dibutuhkan hanya 8 termasuk 2 PWM dan untuk pin analog hanya dipakai 1. Untuk pemrogramannya sendiri termasuk mudah karena menggunakan bahasa C++ dan untuk contoh penggunaannya sudah banyak ada di internet.

3.1.2. *Power Supply* 12V 5A

Power supply merupakan komponen yang dapat mengubah tegangan arus AC ke arus DC. Jenis *power supply* yang kami gunakan adalah 12V 5A. Karena yang akan kami buat adalah prototype maka tegangan yang dibutuhkan juga tidak terlalu besar. Seperti kontroler yang digunakan adalah Arduino Uno, dimana tegangan optimal yang dibutuhkan adalah 7-12 V dengan arus 1 A. Dan pompa yang digunakan memakai tegangan 12V dengan nilai ampere saat ada beban menyalurkan

air adalah 0,25 A dan jumlah pompa yang dipakai pada sistem ini sebanyak 2 buah beserta driver motor dengan masukkan ampere sebesar 0,07 A. Sehingga Pada sistem ini membutuhkan *supply* daya 12V dan 5A yang digunakan untuk menyuplai tegangan Arduino sekaligus 2 pompa. Pada Gambar 3.2 berikut merupakan bentuk dari *power supply* 12V 5A

Gambar 3. 2 *Power Supply* 12V 5A

3.1.3. Sensor Salinitas

Sensor salinitas merupakan komponen elektronik yang dapat mengukur daya hantar suatu fluida[15]. Dalam hal ini kami menggunakan sensor tersebut karena menurut kami untuk pengukuran *coolant* dapat diukur berdasarkan daya hantarnya, semakin banyak *coolant* yang tercampur ke dalam air sebagai campuran maka, ADC (*Analog to Dgigital Convertion*) yang terbaca pada sensor akan semakin kecil. Gambar 3.3 berikut merupakan bentuk dari sensor salinitas.

Gambar 3. 3 Sensor Salinitas

Sensor ini digunakan untuk mengukur berapa banyak konsentrasi *coolant* yang tercampur kedalam air. Untuk standar yang dipakai di industri, konsentrasi *coolant* pada *water coolant* adalah sebanyak 5% atau

jika banyak 2000mL maka *coolant* harus dicampur agar menjadi 5% adalah sebanyak 100 mL.

3.1.4. Sensor HCSR04

Sensor ultrasonik HCSR04 menggunakan sonar untuk menentukan jarak ke objek seperti kelelawar atau lumba-lumba. Ini menawarkan deteksi jangkauan nonkontak yang sangat baik dengan akurasi tinggi dan pembacaan yang stabil dalam paket yang mudah digunakan[16]. Pada Gambar 3.4 berikut ini merupakan bentuk dari sensor HCSR04.

Gambar 3. 4 Sensor Ultrasonik

Komponen ini digunakan untuk mengukur jarak antara permukaan air dengan batas maksimal yang telah ditentukan, pada sistem yang kami buat menggunakan batas atas 15 cm karena tinggi tampungan yang dipakai pada sistem ini adalah 15 cm. Untuk sensornya sendiri memiliki jarak yang dapat terbaca dengan akurat ada pada jarak 2 sampai 400 cm, pernyataan ini berdasarkan *datasheet* sensor HCSR04.

3.1.5. *Driver* Motor L298N

Modul driver motor L298N merupakan sebuah rangkaian dengan IC L298 yang dimana modul tersebut menggunakan prinsip jembatan – H, untuk memungkinkan arah putaran motor bisa ditentukan. Sebenarnya dua relay bisa digunakan untuk mengatur arah putaran motor. Namun, tidak bisa digunakan untuk mengatur kecepatan motor[17]. Pada Gambar 3.5 berikut ini merupakan bentuk dari driver L298N.

Gambar 3. 5 *Driver Motor* L298N

Modul motor L298N ini merupakan driver yang umum dan sering digunakan untuk melakukan suatu penelitian pada jenis motor DC ataupun motor stepper. Pada sistem yang kami buat menggunakan motor DC dengan *input* tegangan 12V. Jadi kami memilih untuk menggunakan modul driver karena untuk programnya bisa dibilang cukup mudah dan sudah ada beberapa contoh penelitian menggunakan driver tersebut. Dan untuk tegangan *input* dari driver ini 5-35V untuk keluarannya berkisar 5-7V. sehingga tidak diperlukan lagi untuk modul penurun tegangan.

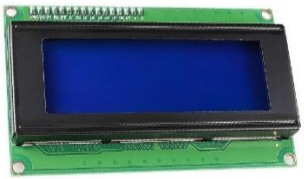
3.1.6. Mini Water Pump

Untuk melakukan proses pengisian *water coolant* ke dalam tangki dibutuhkan sebuah pompa kecil. Pompa air mini berfungsi sebagai pengangkut aliran air karena tidak didukungnya saluran yang menggunakan gravitasi air seperti halnya pada sistem ini, mini water pump akan memompa air dalam tandon hingga mencapai set point yang ditentukan[18]. Pompa yang kami gunakan adalah pompa mini dengan tegangan 12V dan untuk diameter *inlet* maupun *outlet* 7 mm yang memiliki *flowrate* 1,3998 L/min. Dengan spesifikasi diatas pompa ini sudah cukup untuk digunakan pada prototype sistem yang kami kerjakan. Pada Gambar 3.6 berikut ini merupakan bentuk dari pompa yang akan digunakan dalam perancangan alat.

Gambar 3. 6 *Mini Water Pump*

3.1.7. LCD (*Liquid Crystal Display*)

SC2004A adalah desain modul LCD intelijen untuk memudahkan pengembangan proyek yang membutuhkan layar LCD. Papan antarmuka RS232-nya menerima dan menafsirkan data serial dan *output* data ke layar LCD sesuai. SC2004A bekerja dengan pengontrol host apa pun dengan port UART serial[19]. Pada Gambar 3.7 berikut ini merupakan bentuk dari LCD yang digunakan pada sistem yang dibangun.



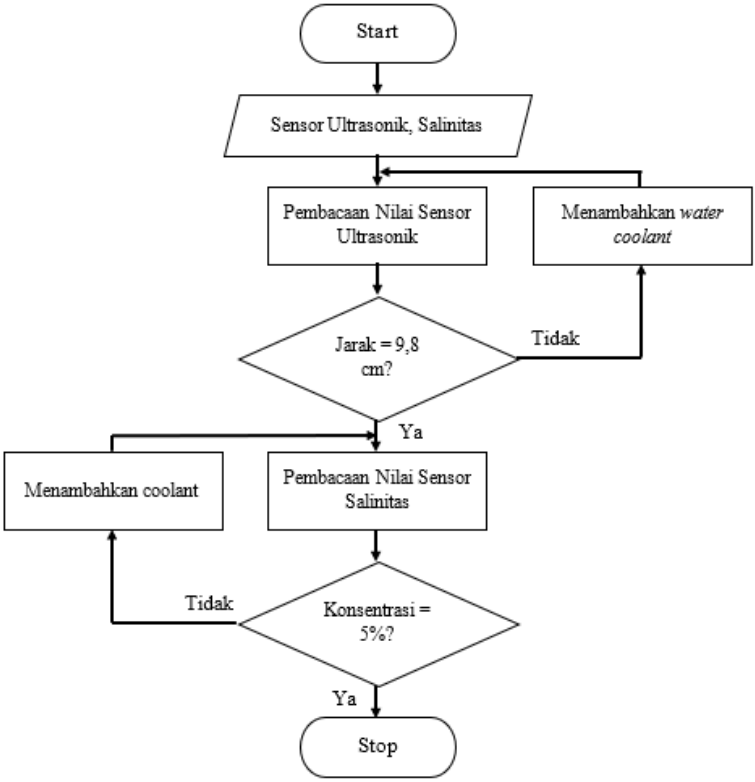
Gambar 3. 7 LCD 20x4

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan jenis layar panel datar yang menggunakan kristal cair dalam pengoperasian utamanya. Untuk proyek ini komponen yang digunakan sebagai *interface* adalah LCD dengan ukuran 20x4. Karena untuk bagian tampilan tidak terlalu banyak yang akan ditampilkan, LCD ini digunakan untuk menampilkan berapa nilai *setpoint* yang diterapkan pada sistem tersebut, nilai yang terbaca

pada sensor yang telah dilakukan pengolahan dengan program dari sistem dan yang terakhir adalah menampilkan untuk nilai PWM pada motor.

3.2. Diagram Alir Sistem

Dalam perancangan sistem, terdapat tahapan yang harus dilalui untuk dapat menuju ke bagian hasil. Tahapan tersebut digambarkan dalam bentuk diagram alir atau *flowchart.* Diagram alir untuk sistem yang kami buat ditunjukan pada Gambar 3.8 sebagai berikut:



Gambar 3. 8 Diagram Alir Sistem

Pada Gambar 3.8 diatas ini merupakan diagram alir sistem untuk pengontrol *water coolant* pada mesin CNC *studi case* di PT. Dirgantara Indonesia, pada tangki mesin CNC DECKEL MAHO TYPE DMC 210 U, penjelasan untuk diagram alir adalah sebagai berikut.

Pada diagram alir tersebut yang dilakukan pertama adalah memasukan *input set point* yang diinginkan atau sesuai dengan sistem yang akan dibangun, pada kasus ini kami menentukan untuk *setpoint* yaitu 10 cm pada *level* ketinggian *water coolant* di tampungan. Pada pengecekan konsentrasi *coolant,* kami menentukan *setpoint* sebesar 5%. Setelah *input* dimasukkan maka proses akan berlanjut ke pembacaan sensor ultrasonik, sensor ini kami gunakan sebagai pengukur *level* ketinggian *water coolant* ditampungan. Cara kerjanya yaitu sensor ultrasonik akan memantulkan gelombang suara, ketika gelombang tersebut menabrak permukaan *water coolant* dan memantul, pantulan gelombang akan ditangkap oleh *receiver* sensor tersebut, yang kemudian hasil dari pembacaan tadi dikirim dan diolah oleh kontroler yaitu Arduino Uno, saat hasil pengolahan data dari sensor ultrasonik menunjukan jarak kurang dari *setpoint* yang telah ditentukan yaitu 9,8 cm maka, aktuator atau pompa 1 akan menyala mengisi tampungan hingga mencapai *setpoint.* Saat mencapai *setpoint,* kontroler akan memperintahkan pompa untuk berhenti.

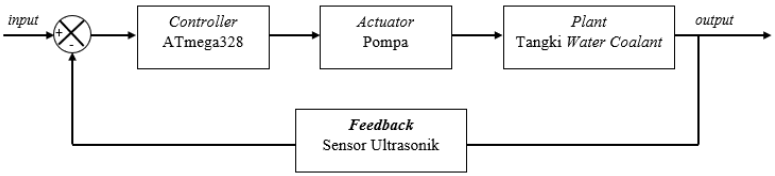
Setelah proses pengecekan dan pengisian *level* tampungan selesai maka, program akan berlanjut ke proses selanjutnya yaitu pengecekan dan pengisian bijih *coolant* murni saat konsentrasi *coolant menurun* pada *water coolant* di tampungan. Untuk mendeteksi konsentrasi *coolant* kami menggunakan sensor salinitas, cara kerja sensor ini adalah mengukur daya hantar suatu cairan atau fluida yang dimana saat cairan yang tercampur memiliki sifat yang konduktif maka pembacaan ADC sensor juga akan tinggi dan sebaliknya apabila cairan yang tercampur memiliki sifat isolatif, maka pembacaan ADC sensor juga akan rendah. Pada sistem yang kami buat *setpoint* yang diterapkan pada konsentrasi *coolant* adalah sebesar 5% maka, jika pembacaan dari pengolahan ADC tersebut kurang dari 5%, untuk pembaca ADC sendiri bisa dikatakan 5% ketika ADC

bernilai 633, selanjutnya kontroler akan mendeteksi bahwa kurang dari *setpoint* dan pompa 2 akan menyala untuk mengisinya dengan bijih *coolant* hingga mencapai *setpoint* yaitu 5%.

Pada diagram alir tersebut ketinggian level *water coolant* adalah 9,8 cm padahal yang seharusnya adalah 10 cm *setpoint* yang ditentukan. Nilai tersebut ditentukan setelah dilakukan beberapa pengujian. Yang pertama ukurang tangki penampungan yang dipakai adalah 30x20x15 cm dengan volume 11.250 ml, yang kedua yaitu untuk penambahan *coolant* kedalam *water coolant* dengan konsentrasi 3% dan volume 4.500 ml, dibutuhkan 10 ml *coolant* murni agar konsentrasi menjadi 5%. Setelah dilakukan pengujian pada keseluruhan alat, dengan kondisi awal pada konsentrasi 3% dan setelah ditambahkan *coolant* murni sampai konsentrasi menunjukkan 5%, nilai ketinggian bertambah hingga 0,02 mm. Oleh karena itu, *setpoint* yang diberikan pada sistem adalah 9,8 cm dengan penamabahan *coolant* murni sebanyak 10 ml sama dengan 0,02 mm maka menjadi 10 cm.

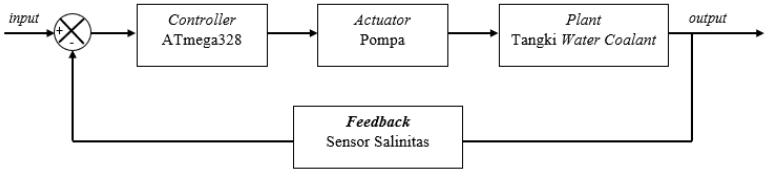
3.3. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem mempresentasikan bagaimana setiap komponen pada sistem tersebut memiliki peranan penting seperti halnya kontroler, aktuator, sensor hingga objek fisik dan variabel-variabel tertentu yang saling terlibat dalam suatu proses. Pengertian dari kendali atau kontrol yaitu suatu usaha yang ditujukan untuk mengatur, menjaga ataupun mencapai kondisi yang dikehendaki pada sebuah sistem dengan memanipulasi variabel-variabel tertentu yang dipilih. Pada Gambar 3.9 berikut merupakan diagram kontrol *level*.



Gambar 3. 9 Diagram Blok Kontrol *Level*

Pada Gambar 3.9 diatas adalah diagram blok untuk mengontrol *level water coolant* dalam tampungan. Pada bagian *input* merupakan saat dimana penentuan *setpoint* yang akan ditetapkan dalam kontrol tersebut. Untuk *level* dari ketinggian *water coolant* pada tampungan yaitu sebesar 10 cm. dengan pompa sebagai aktuatornya kemudian untuk blok *feedback* kami menggunakan sensor ultrasonik sebagai pengukur jaraknya. Pada Gambar 3.10 berikut ini merupakan diagram blok kontrol salinitas.

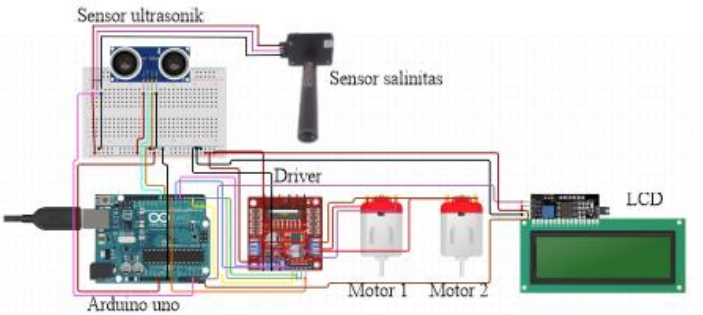


Gambar 3. 10 Diagram Blok kontrol Konsentrasi *Coolant*

Pada Gambar 3.10 diatas adalah diagram blok untuk mengontrol konsentrasi *coolant.* Pada bagian awal yaitu *input* adalah proses memasukkan *setpoint* yang akan diterapkan pada pengontrol konsebtrasi *coolant* tersebut. Untuk konsentrasi dari *water coolant* yang ada di tampungan adalah sebesar 5% atau sebagai contoh dari 2000ml air maka campuran *coolant* adalah sebnayak 100ml. dengan menggunakan pompa sebagai aktuator dan *feedback* menggunakan sensor salinitas sebagai pengukur kadar *coolant* tersebut.

3.4. Desain Elektrik Keseluruhan Sistem

Pada proses perancangan alat desain elektrik sistem dibutuhkan untuk menggambarkan bentuk sistem dan juga jalur elektrik masing-masing komponen. Sehingga bisa tahu semisal komponen a terhubung dengan komponen apa saja. Pada Gambar 3.11 berikut ini merupakan hasil gambaran sirkuit elektrik dari sistem yang akan dibangun.

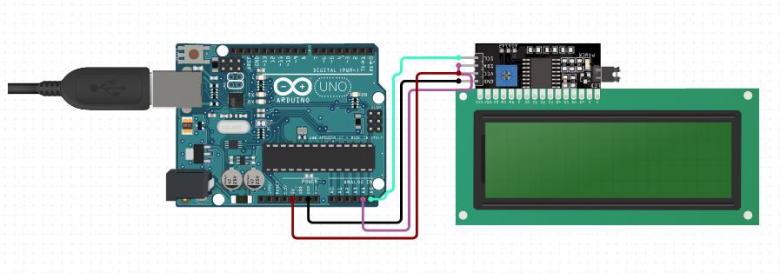


Gambar 3. 11 Desain Elektrik Sistem

Pada Gambar 3.11 diatas menggambarkan desain elektrik dari sistem yang akan kami buat dengan rincian sebagai berikut. Yang pertama sistem ini menggunakan daya dari *power supply* 12V, yang langsung terhubung ke Arduino dan driver motor. Sedangkan untuk kedua sensor jarak, konsentrasi dan juga LCD sumber dayanya diambil dari pin 5V dan GND Arduino yang dimana dibuatkan terminal agar ketiga komponen tersebut dapat menyala. Terakhir untuk pompa atau motor DC terhubung dengan driver L298N.

3.4.1. *Wiring* LCD

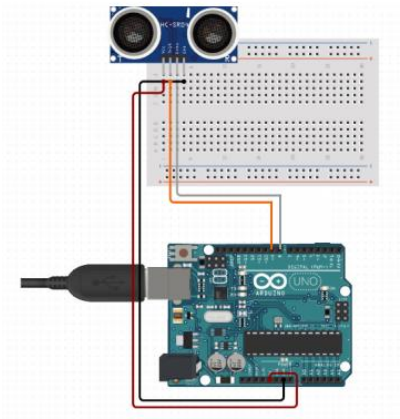
Pada Gambar 3.12 merupakan *wiring* diagram untuk LCD. Untuk penggunaan LCD pada proyek akhir ini, kami menggunakan LCD dengan ukuran 20x4 dan untuk *wiring* dengan kontroler atau arduino menggunakan modul I2C, yang mana untuk keluaran kabel hanya GND, VCC, SDA dan SCL. Berikut ini merupakan gambaran *wiring* Arduino Uno dengan LCD.



Gambar 3. 12 *Wiring* LCD

3.4.2. *Wiring* Sensor Ultrasonik

Pada Gambar 3.13 merupakan *wiring* diagram untuk sensor ultrasonik. Pada proyek kahir ini kami mengguankan jenis sensor ultrasonik yang sangat umum dipakai percobaan yaitu HC-SR04. Berikut untuk sambungan *port* dari sensor ke Arduino Uno.

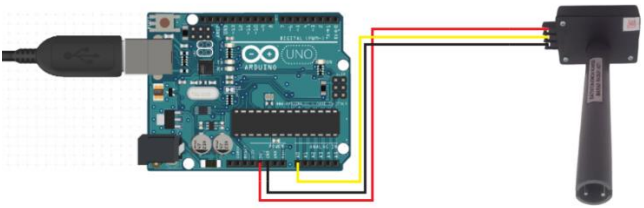


Gambar 3. 13 *Wiring* Sensor Ultrasonik

3.4.3. *Wiring* Sensor Salinitas

Pada Gambar 3.14 merupakan *wiring* diagram untuk sensor salinitas. Pada proyek akhir ini kami menggunakan sensor salinitas

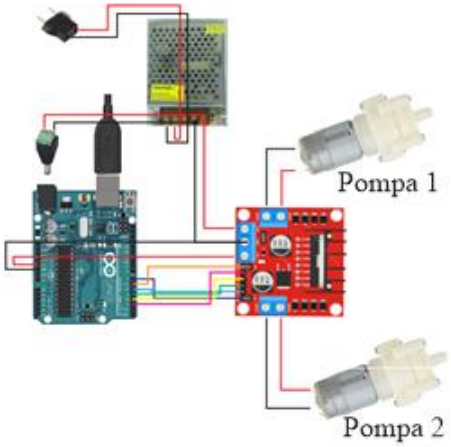
sebagai pendeteksi kadar konsentrasi cairan *coolant* yang terlarut pada tangki penampungan *water coolant.* Berikut untuk sambungan *port* sensor dengan Arduino Uno.



Gambar 3. 14 *Wiring* Sensor Salinitas

3.4.4. *Wiring* Aktuator

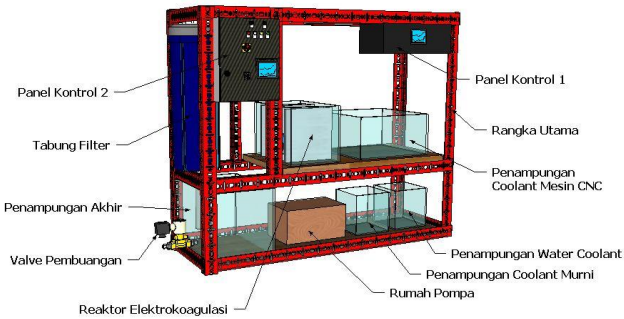
Pada Gambar 3.15 merupakan *wiring* aktuator dengan kontroler. Pada proyek akhir ini kami menggunakan pompa dengan tipe motor DC. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah driver untuk mengatur kecepatan motor tersebut. *Driver* yang digunakan pada proyek akhir ini adalah driver motor dengan tipe L298N. Berikut untuk sambungan *port driver* motor DC dengan arduino. Sekaligus dengan *wiring* dari *power supply*, karena untuk sumber tegangan dari *driver* ini menggunakan tegangan 12V langsung dari *power supply* dan juga dari arduino yaitu 5V. Berikut ini merupakan gambaran *wiring* pompa dengan *driver* menuju *port* Arduino Uno.



Gambar 3. 15 *Wiring* Aktuator

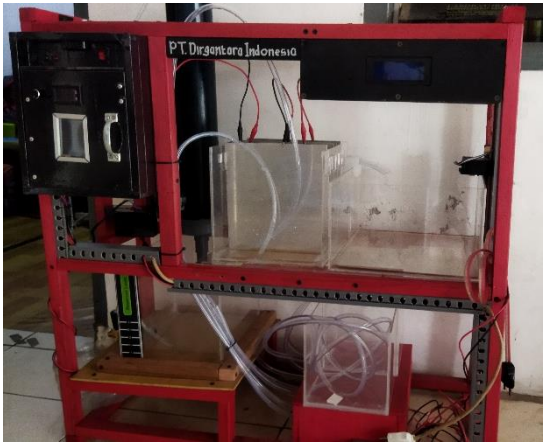
3.5. Desain Mekanik Alat

Untuk desain mekanik, karena *plant* kami menjadi satu dengan dan juga kebetulan mengambil *study case* di PT. Dirgantara Indonesia. Pada Gambar 3.16 merupakan rancangan desain 3D untuk *plant* yang akan dibuat. Maka untuk rancangan bentuk mekanik menjadi seperti berikut.



Gambar 3. 16 Desain Mekanik Alat

Pada Gambar 3.17 merupakan perealisasian mekanik alat berdasarkan desain 3D yang sudah dibuat. Berikut merupakan bentuk dari alat yang telah dibuat, ada beberapa bagian yang tidak sesuai dengan desain awal, akan tetapi secara keseluruhan masih sama.



Gambar 3. 17 Realisasi Desain Alat

Pada bagian mekanik terdapat beberapa bagian atau *part* yang meliputi tampungan besar maupun kecil dan panel box. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing bagian pada mekanik alat.

3.5.1. Tampungan Besar

Pada perealisasian bagian yang pertama adalah tampungan dengan ukuran 30x25x15 cm. Tampungan ini nantinya yang akan menjadi wadah utama dari penampungan *water coolant.* Pada Gambar 3.18 berikut ini merupakan bentuk tampungan besar sebagai wadah *water coolant*.

Gambar 3. 18 Tampungan Besar

3.5.2. Tampungan Kecil

Pada perealisasian bagian yang kedua adalah tampungan dengan ukuran 15x15x15 cm. Tampungan ini nantinya yang akan menjadi wadah dari penampungan *coolant* murni. Pada Gambar 3.19 berikut ini merupakan bentuk tampungan kecil sebagai wadah *coolant* murni.

Gambar 3. 19 Tampungan Kecil

3.5.3. Panel Box

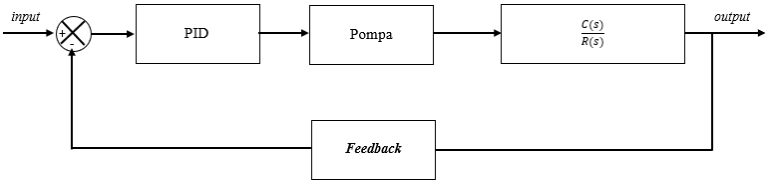
Pada perealisasian bagian yang ketiga adalah panel box dengan ukuran 30x15x8,5 cm. Panel ini nantinya yang akan menjadi wadah utama dari komponen meliputi: arduino uno sebagai kontroler, *module*

driver L298N. rangkaian terminal untuk membagi tegangan yang ada pada arduino, karena dengan komponen sebanyak itu tidak mungkin *port* tegangan keluaran dan *ground* cukup, maka dari itu kami memilih untuk menambahkan terminal, *power supply* sebagai penyuplai tegangan untuk kontroler dan sensor, dan yang terakhir kami juga menambahkan sebuah *fan* atau kipas angin yang berguna untuk mendinginkan *power supply* dan juga kontroler. Dimana pada kondisi biasanya saat digunakan terlalu lama *power supply* akan menimbulkan panas yang berlebih. Berikut merupakan bentuk panel box sebagai wadah dari komponen tersebut. Pada Gambar 3.20 berikut ini merupak bentuk panel *box* yang nantinya akan dipasang pada kerangka alat.

Gambar 3. 20 Panel Box

3.6. Metode PID *Controller*

Metode yang digunakan untuk mengerjakan proyek akhir ini adalah PID *controller* dengan metode *Ziegler Nichols*. Pada *tunning* metode *Ziegler-Nichols* untuk menetapkan Kp, Ti, dan Td berdasarkan dengan *step response* atau berdasarkan nilai Kp yang menghasilkan stabilitas marginal bila hanya kontrol proporsional yang digunakan. Aturan *Ziegler-Nichols*, masih bisa digunakan meskipun model matematika dari sistem (*plant*) tidak diketahui. Berikut ini Gambar 3.21 merupakan diagram blok untuk sistem yang kami buat.



Gambar 3. 21 Diagram Blok PID Controller

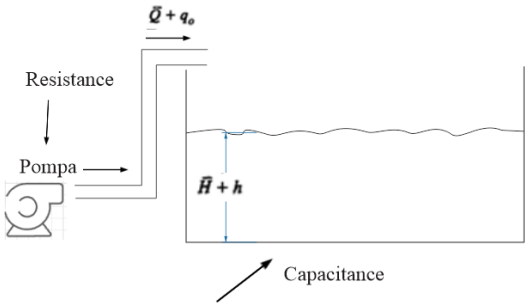
Pada Gambar 3.21 diatas adalah diagram blok PID kontroler. Pada bagian awal yaitu *input* adalah proses memasukkan *setpoint* yang akan diterapkan pada pengontrol konsentrasi *coolant* maupun level *water coolant* tersebut. Untuk konsentrasi dari *water coolant* yang ada di tampungan adalah sebesar 5% atau sebagai contoh dari 2000ml air maka campuran *coolant* adalah sebnayak 100ml. dengan menggunakan pompa sebagai aktuator dan *feedback* menggunakan sensor salinitas sebagai pengukur kadar *coolant* tersebut.

3.6.1. *Tuning* Manual

Ada berbagai macam cara *tuning* PID kontrol salah satu caranya adalah *tuning* secara manual. Perancangan *tuning* manual dilakukan dengan cara menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd secara bergantian dengan memasukkan nilai terkecil atau 1 hingga mendapatkan grafik yang sesuai atau *steady-state* dengan *set point.*

3.6.2. Metode *Ziegler-Nichols* 1

Pada proyek akhir ini menggunakan salah satu metode *tuning* yang sudah sering digunakan sebagai penguji suatu sistem yaitu metode *Ziegler-Nichols* 1. Metode digunakan untuk memudahkan mencari nilai PID yang sesuai dengan sistem yang akan dibuat. Pada Gambar 3.22 berikut ini merupakan bentuk *plant* yang akan dibuat.



Gambar 3. 22 *Water Coolant Level System*

Pada Gambar 3.22 merupakan gambaran *plant* yang akan kami buat. Untuk mendapatkan nilai qo atau *flowrate* pompa yaitu dengan melihat *datasheet* pompa yang digunakan atau bisa dengan diuji secara manual dengan cara volume dibagi waktu dan didapatkan nilai $0{,}000098\frac{m^3}{s}$. Pada pengujian ini untuk ketinggian dari isi tangki penampungan adalah 5 cm. Sehingga berdasarkan gambaran *plant* tersebut didapatkan perhitungan matematis sebagai berikut:

$$R = \frac{dH}{dQ} = \frac{h}{qo} = \frac{0{,}05}{0{,}000098\frac{m^3}{s}} = 510{,}2\ \frac{s}{m^3} \tag{3.1}$$

$$C = \frac{V}{H} = \frac{0{,}00375}{0{,}05} = 0{,}075m^2 \tag{3.2}$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{R}{RCs+1} = \frac{1}{0{,}075s+1} \tag{3.3}$$

Keterangan:

R = Resistansi

C = Kapasitas

h = tinggi

qo = *flowrate* pompa

V = Volume

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB IV
PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini menjelaskan tentang pengujian yang dilakukan serta analisa dari percobaan tersebut. Adapun pengujian dan analisa yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sensor ultrasonik
2. Pengujian sensor salinitas
3. Pengujian PID
4. Pengujian perbandingan dengan dan tanpa PID
5. Pengujian perbandingan PI dan PID

Dari beberapa pengujian tersebut bisa mendapatkan hasil yang sesuai dengan sebagaimana awal perancangan dan juga pada alat ini dapat menyelesaikan masalah pada proses pengisian *water coolant.*

4.1. Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang sebenarnya, sensor ultrsonik adalah sensor yang mendeteksi jarak dengan pantulan gelombang suara maka, untuk mengkalibrasi sensor ini digunakan alat ukur penngaris atau alat ukur lainnya dengan satuan yang digunakan *centimeter* (cm). Pada Gambar 4.1 berikut ini merupakan proses pengujian sensor ultrasonik dengan menggunakan penggaris sebagai alat pembanding.

Dalam proses pengujiannya kami menggunakan kotak karton kecil sebagai benda yang dideteksi, yang kemudian diuji dengan beberapa jarak yang berbeda. Pada Gambar 4.1 merupakan contoh tiga jarak yang digunakan sebagai sampel pengujian.

(a) 20 cm (b) 10 cm (c) 5 cm

Gambar 4. 1 Pengujian Sensor Ultrasonik

Dari proses pengujian pada Gambar 4.1, hasil pengujian yang didapatkan dimasukkan pada Tabel 4.1. Berikut ini merupakan tabel pengujian awal sensor ultrasonik menggunakan penggaris.

Melalui Tabel 4.1 dari nilai yang diujikan dengan hasil pengujian dapat dianalisa dan ditemukan selisih *error* dari pembacaan sensor ultrasonik.

Tabel 4. 1 Pengujian Sensor Ultrasonik

No.	Penggaris(cm)	Sensor(cm)	Selisih (error)
1	15	13.7	1.3
2	14	13.24	0.76
3	13	12.55	0.45
4	12	11.59	0.41
5	11	11.12	0.12
6	10	10.17	0.17
7	9	8.28	0.72
8	8	7.48	0.52
9	7	6.07	0.93
10	6	5.12	0.88
11	5	4.23	0.77

Pada Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian awal pada sensor ultrasonik. Dari hasil pengujian tersebut dapat kita analisa bahwa hasil

pembacaan sensor terjadi *error* paling besar ada pada cm ke 15. Dalam *datasheet* sensor ultrasonik pembacaan akurat ada pada rentang jarak 10 sampai 20 cm, sedangkan pada Tabel 4.1 tersebut nilai pembacaan mengalami *error* paling besar pada cm ke 15, hal itu dikarenakan untuk mendeteksi ketinggian level air atau pada *plant* ini *water coolant* berkebalikan yang harusnya pada kondisi tangki kosong adalah 15 cm karena sensor diletakkan di atas tangki. Dengan menambahkan perhitungan pada program di arduino, sehingga pada kondisi tangki kosong nilai yang terbaca pada arduino adalah 0 cm.

4.1.1. Kalibrasi Sensor Ultrasonik

Pada kalibrasi sensor ini setelah mendapatkan hasil dari pengujian sensor ultrasonik, perlu dilakukan suatu perhitungan untuk mengetahui karakteristik dari sensor tersebut. Salah satu caranya yaitu dengan menggunakan metode regresi linier. Selain dari karakteristik yang dapat diketahui metode ini juga dapat menampilkan persamaan yang dapat digunakan untuk membuat pembacaan dari sensor tersebut menjadi semakin mendekati nilai aslinya. Pada Gambar 4.2 berikut ini merupakan hasil pengujian dan pembacaan sensor ultrasonik.

Gambar 4. 2 Pembacaan Sensor Ultrasonik

Persamaan untuk melakukan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$\boldsymbol{y = a + bx,} \tag{4.1}$$

Dimana,

y = Variabel respon (nilai pembacaan sensor)

x = Variabel faktor (nilai penggaris)

a = Konstanta

b = Koefisien regresi (kemiringan)

Pada perhitungan selanjutnya untuk mendapatkan nilai a dan b dapat dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan regresi linier sebagai berikut.

$$a = \frac{(\sum y)\,(\sum x^2) - (\sum x)\,(\sum xy)}{n\,(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{4.2}$$

$$b = \frac{n\,(\sum xy) - (\sum x)\,(\sum y)}{n\,(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{4.3}$$

Setelah mengetahui rumus perhitungan 4.1, 4.2 dan 4.3 tahapan selanjutnya adalah memasukkan nilai penggaris sebagai varibel x dan nilai pembacaan sensor ultrasonik sebagai variabel y untuk kemudian dimasukkan kedalam tabel perhitungan regresi linier seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Perhitungan Metode Regresi Linier

No.	x	y	x^2	y^2	xy
1	15	13,7	225	187,69	205,5
2	14	13,24	196	175,2976	185,36
3	13	12,55	169	157,5025	163,15
4	12	11,59	144	134,3281	139,08
5	11	11,12	121	123,6544	122,32
6	10	10,17	100	103,4289	101,7
7	9	8,28	81	68,5584	74,52
8	8	7,48	64	55,9504	59,84
9	7	6,07	49	36,8449	42,49

No.	x	y	x^2	y^2	xy
10	6	5,12	36	26,2144	30,72
11	5	4,23	25	17,8929	21,15
$\sum$	110	103,55	1210	1087,36	1145,83

Dari Tabel 4.2 tersebut didapatkan nilai-nilai yang dibutuhkan dalam perhitungan regresi linier. Nilai-nilai tersebut meliputi:

$\sum x$ = 110

$\sum y$ = 103,55

$\sum x^2$ = 1210

$\sum y^2$ = 1087,36

$\sum xy$ = 1145,83

Perhitungan konstanta :

$$a = \frac{(\sum y)\,(\sum x^2) \;-\; (\sum x)\,(\sum xy)}{n\,(\sum x^2) \;-\; (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(103{,}55)\,(1210) \;-\; (110)\,(1145{,}83)}{11\,(1210) \;-\; (110)^2}$$

$$a = \frac{(125295{,}5) \;-\; (126041{,}3)}{(13310) \;-\; (12100)}$$

$$a = \frac{(-745{,}8)}{(1210)}$$

$$a = \;-0{,}6164$$

Perhitungan koefisien regresi :

$$b = \frac{n\,(\sum xy) \;-\; (\sum x)\,(\sum y)}{n\,(\sum x^2) \;-\; (\sum x)^2}$$

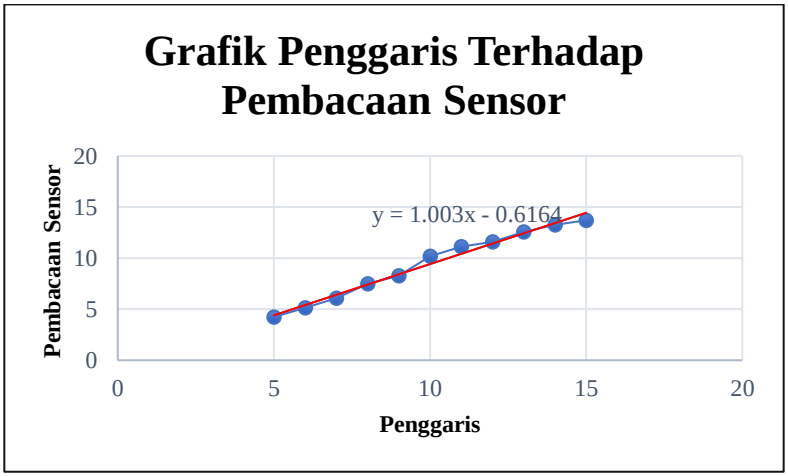
$$b = \frac{11(1145{,}83) - (110)\,(103{,}55)}{11\,(1210) - (110)^2}$$

$$b = \frac{(12604{,}13) - (11390{,}5)}{(13310) - (12100)}$$

$$b = \frac{(1213{,}63)}{(1210)}$$

$$b = 1{,}003$$

Dari perhitungan regresi linier tersebut didapatkan nilai a dan b. Yang kemudian dari nilai itu didapatkan grafik linier seperti pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4. 3 Grafik Karakteristik Sensor Ultrasonik

Dari Gambar 4.3 tentang hasil pengujian karakteristik sensor ultrasonik dapat diamati bahwa penggunaan metode kalibrasi sensor dengan menggunakan regresi linier sangat membantu untuk menemukan korelasi antara nilai ukuran atau jarak dengan perubahan nilai dari pembacaan sensor. Dari hasil persamaan tersebut untuk nilai konstanta a

= 0.0179 dan b = 0.0025x nantinya akan digunakan untuk mengkonversi nilai pembacaan sensor menjadi nilai jarak cm yang terukur oleh sensor.

4.1.2. Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

Pada tahap yang selanjutnya adalah untuk pengujian keakuratan dari pembacaan sensor ultrasonik, dimana pada kondisi sebelumnya nilai keluaran dari sensor telah dikalibrasi sehingga mendekati nilai yang seharusnya dengan menggunakan rumus regresi linier. Pada pengujian keakuratan ini sensor akan diujikan dengan jarak yang sama sabanyak 5 kali sebanyak 10 kali. Dengan pengujian ini tingkat keakurasian pembacaan sensor menjadi lebih akurat. Pada Tabel 4.3 berikut ini merupakan hasil pengujian akurasi untuk sensor ultrasonik.

Tabel 4. 3 Pengujian Akurasi Sensor Ultrasonik

No.	Penggaris (cm)	Sensor (cm)	Rata-rata % Error
1	4	3.76	13.9
		4.7	
		4.61	
		4.65	
		4.58	
2	5	4.23	11.52
		5.67	
		5.19	
		5.6	
		5.65	
3	6	5.12	7.262
		6.25	
		5.73	
		6.5	
		6.28	

No.	Penggaris (cm)	Sensor (cm)	Rata-rata % Error
4	7	6.07	4.7
		7.09	
		7.15	
		7.38	
		7.1	
5	8	7.48	5.54
		8.05	
		8.1	
		8.81	
		8.74	
6	9	8.28	5.684
		9.48	
		9.53	
		9.34	
		9.49	
7	10	10.17	3.94
		10.83	
		10.82	
		10.7	
		10.8	
8	11	11.12	5,19
		11.72	
		11.72	
		11.6	
		11.7	
9	12	11.59	1.94

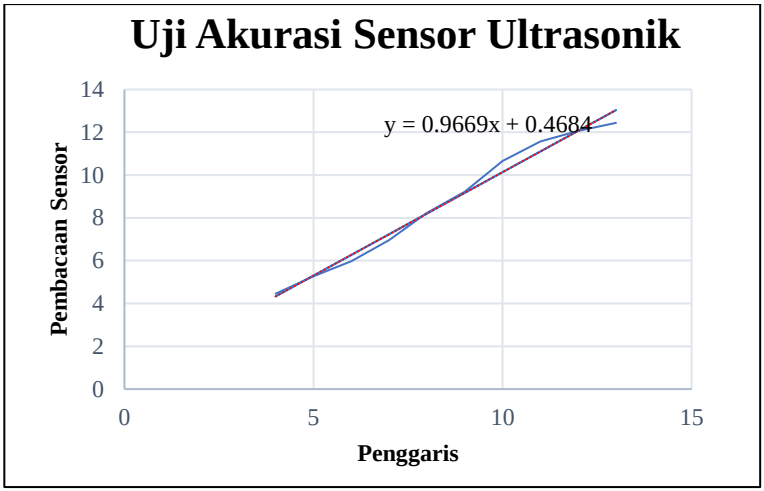
No.	Penggaris (cm)	Sensor (cm)	Rata-rata % Error
		12.18	
		12.25	
		12.13	
		12.2	
10	13	12.55	3.14
		12.72	
		12.31	
		12.3	
		12.33	

Pada Tabel 4.3 merupakan hasil dari pengujian untuk melihat seberapa akurat sensor ultrasonik dalam melakukan pembacaan. Untuk *error* pada masing-masing pengujian, bisa dihitung dengan menggunakan rumus persentase sebagai berikut:

$$\%\ error = \frac{Selisih\ Pembacaan}{Nilai\ Sebenarnya}\ x\ 100 \tag{4.4}$$

Persentase *error* dari pengujian ini, yang memiliki persentase paling besar adalah pada pengukuran di 4 cm dan untuk persentase pembacaan paling kecil dan stabil ada pada jarak 12 cm. persentase *error* yang tinggi dikarenakan permukaan yang diukur adalah permukaan air, yang ketika ada sedikit guncangan maka akan membentuk gelombang yang menimbulkan pembacaan menjadi tidak akurat.

Setelah melakukan pengujian dengan sampel yang banyak tersebut didapatkan nilai *a* dan *b*. Yang kemudian dari nilai itu didapatkan grafik linier seperti pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4. 4 Grafik Akurasi Sensor Ultrasonik

4.2. Pengujian Sensor Salinitas

Pengujian sensor salinitas dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang sebenarnya, pada keadaan yang sebenatnya di industri, untuk mengukur tingkat konsentrasi *coolant* menggunakan alat ukur refraktometer. Oleh karena itu, untuk mengkalibrasi sensor ini digunakan alat ukur yang sesuai yaitu refraktometer. Refraktometer sendiri merupakan alat ukur dengan satuan persentase konsentrasi yang terlarut dalam air. Cara menggunakan alat ukur ini adalah dengan cara menggunakan cairan yang steril atau bersih. Cairan yang dipakai sebagai kalibrator atau yang dipakai sebagai batas bawah untuk pengukuran, yaitu menggunakan air bio. Setelah menentukan batas bawah pembacaan refraktometer, baru dilakukan pengujian pada sampel cairan lainnnya. Pada Gambar 4. 5 berikut ini merupakan alat yang dipakai untuk mengukur konsentrasi *coolant* yaitu refraktometer.

Gambar 4. 5 Refraktometer

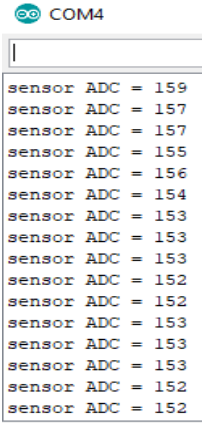
Berikut ini pada Gambar 4.4 merupakan salah satu contoh dalam pengambilan beberapa sampel, dimana nantinya hasil dari pengujian tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam pengujian selanjutnya.

(a) pengujian (b) pembacaan

Gambar 4. 6 Pengujian dan Pembacaan Refraktometer

Proses pengujian dan pembacaan digambarkan pada Gambar 4.5, dimana pada Gambar 4.6 (a) adalah pengujian untuk sampel air bio dan (b) pembacaan melalui alat ukur refraktometer dengan hasil sekitar 0

persen. Tahapan selanjutnnya adalah menguji dengan beberapa sampel cairan. Pada Gambar 4.7 berikut ini merupakan salah satu hasil dari pengujian menggunakan air bio.



Gambar 4. 7 Serial Monitor Sampel Air Bio

Saat melakukan pengujian pada air bio, nilai sensor salinitas pada keadaan tidak ada cairan ada pada nilai ADC 20

Pada Tabel 4.4 berikut ini merupakan tabel pengujian awal sensor salinitas dengan menggunakan nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) sebagai acuan.

Tabel 4. 4 Pengujian Karakteristik Sensor Salinitas

No.	Jenis sampel air	Sensor ADC
1.	Air PDAM	295
2.	*Water coolant*	229
3.	Air bio	155
4.	*Coolant* murni	0

Pada Tabel 4.4 merupakan hasil pengujian sensor salinitas dengan beberapa sampel. Dengan catatan pada saat pengujian sampel, kondisi sensor pada keadaan tidak tercelup dalam cairan adalah 0.

4.2.1. Kalibrasi Sensor Salinitas

Pada kalibrasi sensor ini setelah mendapatkan hasil dari pengujian sensor dengan beberapa sampel, perlu dilakukan beberapa pengujian lagi. Untuk pengujian selanjutnya akan diujikan menggunakan campuran asli dengan perhitungan sesuai prosedur yang ada di industri. Prosedur tersebut yakni untuk pencampuran *coolant* murni dengan air adalah dengan perbandingan 1 banding 20.

Untuk pengujian dengan menggunakan *coolant* asli dari industri dilakukan pengujian pada tingkat konsentrasi 0% atau air bio tanpa dicampur dengan *coolant.* Tingkat selanjutnya adalah 2% penyampuran *coolant* murni kedalam air bio. Tingkat selanjutnya adalah pencampuran dengan konsentrasi 3% dan yang terakhir baru dengan konsentrasi 5%. Gambar 4.8 berikut ini merupakan sampel yang akan diujikan.

Gambar 4. 8 Sampel Konsentrasi *Coolant*

Setelah melakukan pengujian nilai ADC dari beberapa sampel tersebut. Nilai yang dihasilkan pada pembacaan sensor menunjukkan hasil yang mengejutkan, yang mana pada pengujian tersebut nilai antara air bio dengan sampel yang terdapat *coolant* dengan konsentrasi berapapun, nilai yang terbaca tidak jauh berbeda dengan tanpa adanya campuran *coolant* didalamnya. Pada Tabel 4.5 merupakan hasil dari pengujian dengan beberapa sampel pada Gambar 4.8:

Tabel 4. 5 Pengujian Sampel *Coolant*

No.	Air Bio	2%	3%	5%
1.	100	84	89	95
2.	87	89	96	96
3.	91	93	103	98
4.	118	111	117	113
5.	115	106	115	100

Pada pengujian untuk mengkalibrasi sensor salinitas hasil yang ditemukan tidak sesuai dengan apa yang direncanakan sebelumnya. Dengan nilai yang seperti itu tidak memungkinkan sensor tersebut bisa mendeteksi konsentrasi *coolant* yang ada dalam penampungan dalam sistem yang akan dibuat. Masalah ini juga memang belum ada penyelesaian pada tempat industri yang kami lakukan *study case*.

Untuk mengatasi masalah tersebut, karena tidak menungkinkan untuk mengganti sensor ditengah pengerjaan alat. Maka dari itu, kami melakukan penggantian pada sampel *coolant* yang akan dipakai, yaitu dengan menggunakan air garam.

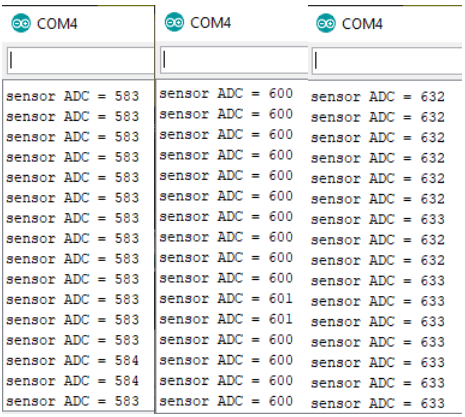
Cara kerja atau pengaplikasiannya yaitu dengan membuat *coolant* murni dengan menggunakan garam. Jadi untuk pengukuran di refraktometer harus sampai dengan nilai maksimum. Setelah melakukan beberapa percobaan akhirnya dapat nilai yang sesuai pada refraktometer, meskipun nilai dari percobaan tersebut hanya sampai ke angka 98% yaitu dengan penyampuran untuk setiap 1-liter ada 100 g garam yang harus

diberikan. Dari hasil pencampuran ini yang nantinya akan diibaratkan seperti *coolant* murni.

Sedangkan untuk penggunaannya sama dengan *coolant* murni, jadi untuk digunakan dalam pengujian sensor salinitas, sama seperti pengujian sebelumnya yaitu untuk setiap 200 mL air dicampurkan dengan 10 mL cairan *coolant* buatan tadi.

4.2.1. Pengujian Akurasi Sensor Salinitas

Setelah membuat cairan *coolant* buatan untuk dapat melanjutkan kalibrasi pada sensor salinitas ini, selanjutnya adalah melakukan pengujian dengan menggunakan sampel yang sudah disesuaikan sebelumnya dengan campuran air garam. Pada Gambar 4.9 berikut ini merupakan proses pengujian sensor salinitas.



Gambar 4. 9 Hasil Pengujian Sensor Salinitas

Saat pengambilan data pada Gambar 4.9, nilai dari sensor salinitas tanpa dimasukan pada cairan sampel memiliki nilai 55 keatas. Akan tetapi, untuk hasil pengujian tersebut dapat diamati bahwa hasil pengukuran nilai salinitas sudah sesuai dengan yang diharapkan dan bisa untuk pengujian keseluruhan sistem. Jadi pada sistem akan diatur dengan program dengan *set point* yang memungkinkan sistem akan bekerja

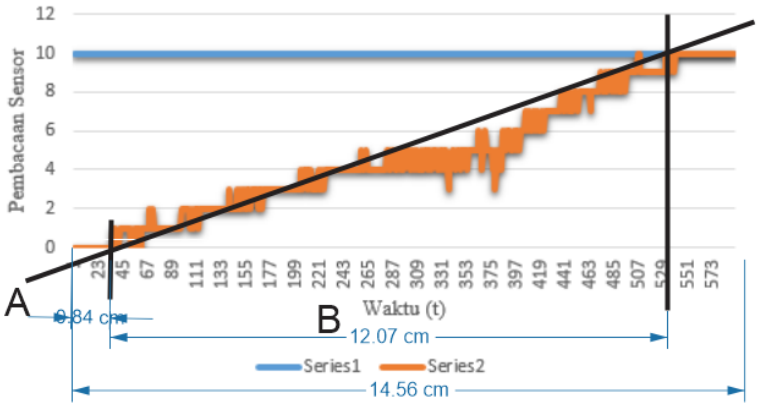
hingga dapat mencapai *set point* tersebut. Untuk *set point* ditetapkan pada nilai 633 ADC sesuai data pengujian, yang dimana pada nilai tersebut konsentrasi *coolant* ada di 5%.

4.3. Pengujian PID

Pada sistem yang dibangun menggunakan suatu pengontrol atau pengendali yaitu PID kontroler. Pengujian PID akan dilakukan dengan melakukan tuning dengan manual dan metode *Ziegler-Nichols* 1. Dari hasil tuning tersebut akan didapatkan perbedaan nilai Kp, Ki, dan Kd, serta nilai error. Sehingga dapat dibandingkan nilai *error* pada kedua tuning tersebut.

4.3.1. Metode *Ziegler-Nichols* 1

Perancangan dengan Metode Nichols Ziegler 1 yakni dengan melihat respon sistem tanpa adanya kendali atau hanya dengan memberikan nilai SV (*Set Value*) dengan PV (*Present Value*). Setelah melakukan beberapa kali pengambilan data, didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Grafik Respon Sistem

Pada Gambar 4.10 merupakan grafik dari respon sistem yang dibangun. Dari gambar tersebut didapatkan beberapa variabel, yang nantinya akan digunakan sebagai perhitungan. Variabel tersebut meliputi:

$A = 0{,}84\ cm$

$B = 12{,}07\ cm$

$full(0 - 575) = 14{,}56\ cm$

$waktu\ full = 575\ detik$

$$Konversi\ waktu = \frac{14{,}56}{575} = 0{,}025\ s/cm \tag{4.5}$$

$$L = 0{,}84\ x\ 0{,}025 = 0{,}021 \tag{4.6}$$

$$T = 12{,}07\ x\ 0{,}025 = 0{,}30175 \tag{4.7}$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai Kp, Ki, Kd, Ti dan Td dengan menggunkan rumus penalaan metode *Ziegler-Nichols* 1 seperti pada Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4. 6 Penalaan *Ziegler-Nichols* Metode 1

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$\frac{T}{L}$	-	-
PI	$0.9\frac{T}{L}$	3L	-
PID	$1.2\frac{T}{L}$	2L	L/2

Dari rumus perhitungan yang ada pada Tabel 4.6, maka didapatkan hasil sepereti pada Tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan *Ziegler-Nichols* 1

	Kp	Ki	Kd	Ti	Td	T	L
P	14,37	-	-	-	-	0,30175	0,021

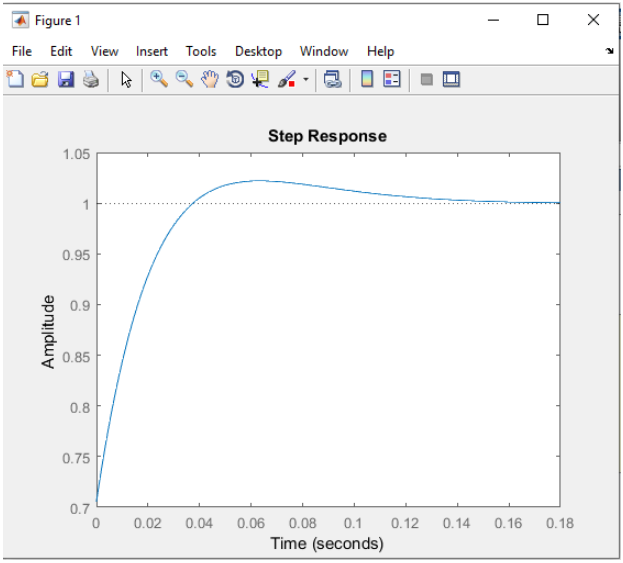
PI	12,9	204,76	-	0,063	-		
PID	17,24	410,47	0,18	0,042	0,0105		

Untuk mendapatkan nilai Ki dan Kd dapat menggunakan rumus persamaan sebagai berikut:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \tag{4.8}$$

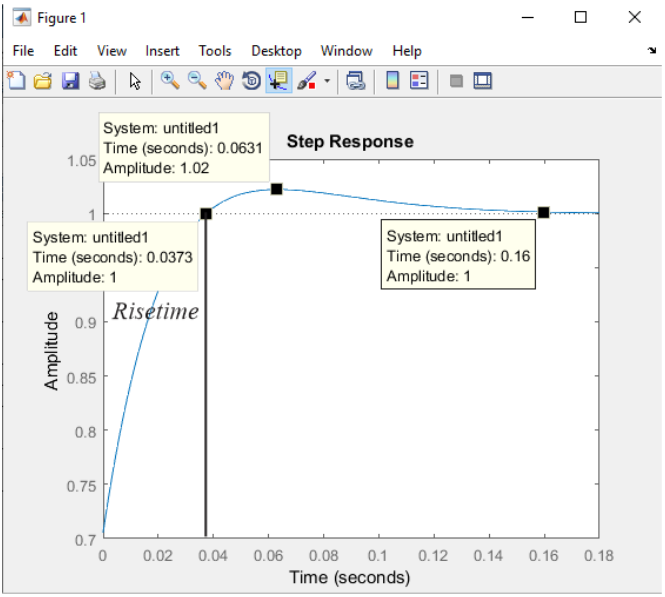
$$K_d = K_p . T_d \tag{4.9}$$

Dari nilai hasil perhitungan pada Tabel 4.7 dapat diketahui nilai Kp, Ki dan Kd. Sehinga dengan hasil tersebut dapat diplotkan pada matlab sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



Gambar 4. 11 Hasil Tunning PID *Ziegler-Nichols*

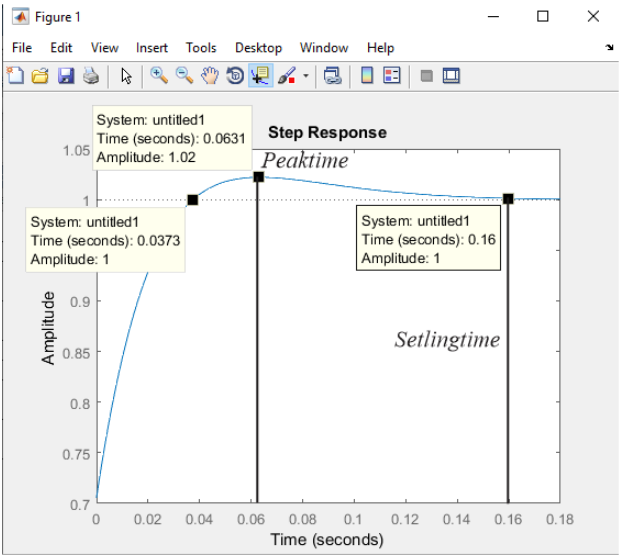
Pada Gambar 4.11 merupakan hasil *ploting* dengan menggunakan matlab. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut dapat diambil data meliputi:



Gambar 4. 12 *Risetime*

Yang pertama data yang dapat diambil dalam pengujian, pada Gambar 4.12 adalah *risetime* sistem yang dibangun. *Risetime* sendiri merupakan waktu ketika respon sistem mulai naik dari t = 0 hingga mencapai atau memotong sumbu *steady-state* yang pertama. Dalam pengujian ini saat respon sistem mecapai sumbu *steady-state* yang pertama dengan waktu (t) = 0.0373 detik.

Selain dari data hasil *risetime* yang didapatkan, ada juga nilai dari *peak time* yang diketahui. *Peak time* adalah nilai maksimum yang dapat dicapai sistem, pada sistem nilai nilai maksimum yang dicapai adalah 1,02 diatas *setpoint* dengan waktu 0,0631 detik. Kemudian nilai selanjutnya yang diketahui adalah *setling time*. *Setling time* merupakan waktu tunak atau waktu dimana respon sistem telah memasuki kurang lebih 5 atau 2 persen dari keadaan *steady-state*. Untuk hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 13 *Setling Time*

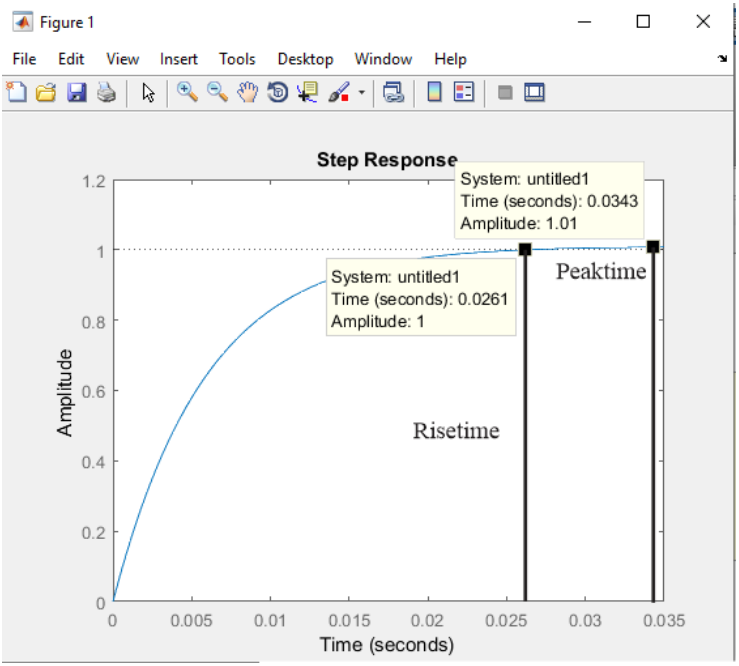
Dari data hasil Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa untuk nilai *setling time* pada respon sistem adalah 0,16 detik setelah sistem dijalankan. Dan untuk keadaan sistem menjadi *steady-state* bersamaan dengan keadaan *setling time.*

Selain dapat diketahui nilai *setling time* pada sistem tersebut, dari Gambar 4.12 juga dapat diketahui nilai *peak time* dari respon sistem, yaitu pada angka 1.02 dari *setpoin* 1, sedangkan *peak time* sendiri adalah nilai waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *peak* pertama atau pucak maksimum yang dapat dicapai oleh sistem.

4.3.2. Metode *Ziegler-Nichols* PI

Dalam proses mencari hasil sistem yang sesuai, kami juga melakukan pengujian dengan hanya menggunakan parameter PI saja dan menganalisa hasil yang didapatkan. Nilai parameter PI yang sebelumnya sudah ditemukan dengan metode *Ziegler-Nichols* seperti pada Tabel 4.7

diatas, diketahui nilai Kp dan Ki adalah 12,9 dan 204,76. Kemudian dari nilai tersebut dapat disimulasikan pada matlab, sehingga didapatkan respon sistem sebagai berikut.



Gambar 4. 14 Hasil dengan Parameter PI

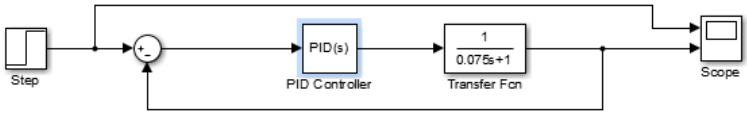
Pada Gambar 4.14 merupakan hasil *ploting* parameter PI dengan menggunakan matlab. Berdasarkan data hasil pengujian tersebut dapat diambil data meliputi: *risetime*, *peaktime* dan *setling time*.

Yang pertama data yang dapat diambil dalam pengujian, pada Gambar 4.14 adalah *risetime* sistem yang dibangun. *Risetime* sendiri merupakan waktu ketika respon sistem mulai naik dari t = 0 hingga mencapai atau memotong sumbu *steady-state* yang pertama. Dalam pengujian ini saat respon sistem mecapai sumbu *steady-state* yang pertama dengan waktu (t) = 0.0261 detik.

Selain dari data hasil *risetime* yang didapatkan, ada juga nilai dari *peak time* yang diketahui. *Peak time* adalah nilai maksimum yang dapat dicapai sistem, pada sistem nilai nilai maksimum yang dicapai adalah 1,01 diatas *setpoint* dengan waktu 0,0343 detik. Kemudian nilai selanjutnya yang diketahui adalah *setling time. Setling time* merupakan waktu tunak atau waktu dimana respon sistem telah memasuki kurang lebih 5 atau 2 persen dari keadaan *steady-state.* Pada kondisi ini nilai *setling time* sama dengan *peak time* berdasarkan grafik *ploting* simulasi dengan matlab.

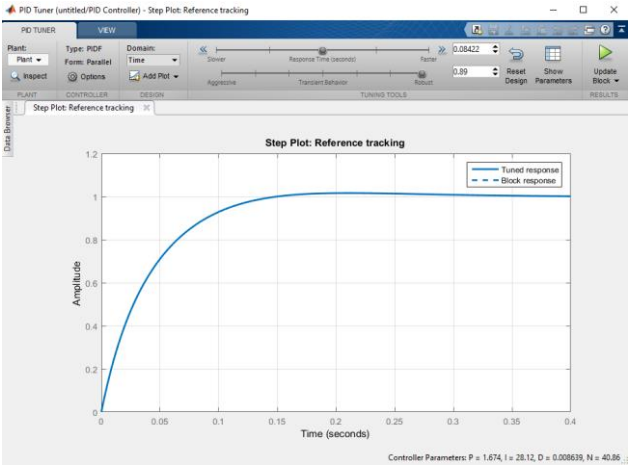
4.3.3. *Tunning Automatically*

Setelah melakukan tunning dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols.* Pengujian selanjutnya adalah dengan dengan menggunakan *tunning* dengan cara membuat sistem tersebut di program Simulink seperti Gambar 4.15 berikut ini.



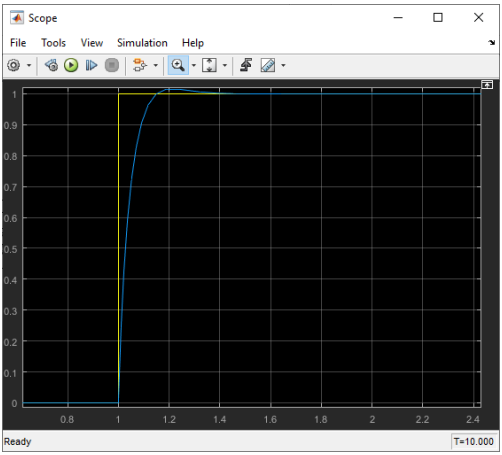
Gambar 4. 15 Diagram Blok Simulink

Untuk melakukan *tunning* secara otomatis perlu untuk mengetahui nilai dari *transfer function*, yang kemudian diberikan blok kontroler PID, pada masukkan diberikan sinyal *step* dan keluaran diberikan *scope* yang nantinya bisa dilihat grafik hasilnya.



Gambar 4. 16 *Tunning Parameter*

Pada Gamabr 4.16 merupakan contoh saat melakukan *tunning* dengan mengatur *time response* yang diinginkan sehingga mendapatkan respon yang sesuai.



Gambar 4. 17 Hasil Dari *Tunning* Otomatis

Dari hasil yang didapatkan pada Gambar 4.17 yaitu *tunning* secara otomatis waktu yang dibutuhkan atau *risetime* adalah sekitar 1,16 detik dengan *overshoot* tidak terlalu besar dengan nilai sekitar 1,001 diatas *set point*.

Hasil dari nilai Ki, Kp dan Kd dari masing-masing metode yang digunakan ternyata berbeda. Akan tetapi, perbedaan nilai tersebut tidaklah terlalu besar dan masih sesuai dengan perhitungan.

4.4. Perbandingan Dengan dan Tanpa PID

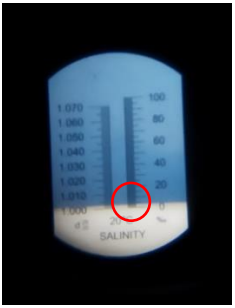
Dalam proyek akhir ini pembuatan alat agar bisa bekerja sesuai dengan rancangan awal, maka digunakanlah metode PID sebagai pengontrol hasil keluaran dari sistem. Pada pengujian ini, kondisi awal saat melakukan pengujian kondisi tangki adalah 0 cm atau dalam keadaan kosong. Dan metode yang dibandingkan adalan tanpa PID hanya dengan menggunakan program *if* dan *else* dengan PID *tuning* secara manual atau dengan memasukkan nilai yang cocok pada parameter P.

Hasil dari percobaan dengan menggunakan program tanpa metode dapat mencapai *set point* dalam waktu 3,43 menit dengan keakuratan selisih 0,2 cm dari *set point* yang ditentukan. Sedangkan pada pengujian dengan menggunaka metode PID mencapai *set point* dengan waktu 4,58 menit hampir 5 menit. Bahkan dengan perubahan nilai Kp saat pengujian bertujuan untuk mempercepat prosesnya hanya dapat mencapai waktu 4,28 menit dengan nilai Kp 60, untuk yang sebelumnya menggunakan nilai Kp 30. Dengan keakuratan hampir sama yaitu selisih 0,1 cm. Yang mungkin dalam kondisi sebenarnya selisih 0,1 tidak menjadikan masalah dan dianggap suatu sistem pasti memiliki *error*.

4.5. Perbandingan PI dan PID

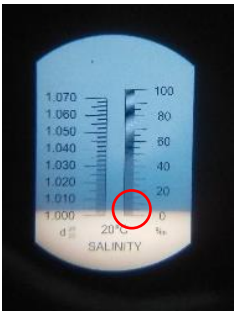
Setelah melakukan pengujian dengan menggunakan PID *manual tuning* dan tanpa PID, kami juga melakukan pengujian dengan menggunakan parameter PI saja. Parameter PI ini nantinya juga akan dibandingkan dengan parameter PID dengan kondisi awal level

ketinggian *water coolant* adalah 8 cm dan konsentrasi 3%. Berikut merupakan hasil pengujiannya dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 18 Hasil Salinitas PI

Dari Gambar 4.18 tersebut dapat diketahui bahwa untuk hasil pengujian dengan menggunakan parameter PI, didapatkan nilai konsentrasi 4% dari yang seharusnya 5% sesuai dengan *setpoint* yang ditetapkan pada aawal pengujian. Untuk nilai dari ketinggian dari pengujian ini adalah 9,8 cm tidak mencapai 10 cm, jika sesuai dengan perhitungan maka setelah sistem dijalankan seharusnya menambahkan *coolant* murni sebanyak 10 ml untuk mencapai konsentrasi 5%. Maka ketinggian akan bertambah 0,02 mm, sehingga nilai ketinggian sama dengan *set point* yaitu 10 cm.



Gambar 4. 19 Hasil Salinitas PID

Dari Gambar 4.19 tersebut dapat diketahui bahwa untuk hasil pengujian dengan menggunakan parameter PI, didapatkan nilai konsentrasi 5% sesuai dari yang seharusnya 5% dengan *setpoint* yang ditetapkan pada aawal pengujian. Untuk nilai dari ketinggian dari pengujian ini adalah 9,9 cm hampir mencapai 10 cm, jika sesuai dengan perhitungan maka setelah sistem dijalankan seharusnya menambahkan *coolant* murni sebanyak 10 ml untuk mencapai konsentrasi 5%. Maka ketinggian akan bertambah 0,02 mm, sehingga nilai ketinggian sama dengan *set point* yaitu 10 cm.

Akan tetapi, perbandingan kedua pengujian tersebut hanya memiliki perbedaan selisih yang cukup kecil. Begitupun dengan perbedaan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai masing-masing *set point* memiliki perbedaan selisih waktu hanya beberapa detik saja. Dengan parameter PI untuk mencapai masing-masing *set point* dibutuhkan waktu 1,13 menit, sedangkan untuk parameter PID tidak sampai 1 menit, hanya berkisar di 55 detik.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan dapat kita ambil kesimpulan bahwa untuk *plant* yang kami bangun ini dengan menggunakan metode PID kontroler dapat bekerja dengan apa yang direncanakan dan hanya terjadi beberapa *error* pada saat pengujian. Pada hasil pengujian pada bab 4 dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan penelaan metode *Ziegler-Nichols* ini dapat diketahui nilai Kp, Ki dan Kd dapat diketahui berdasarkan perhitungan tabel penalaan *Ziegler-Nichols*, yaitu dengan nilai Kp = 17,24, Ki = 410,47 dan Kd = 0,18.
2. Dengan metode *Tuning* otomatis menggunakan diagram blok pada simulink didapatkan hasil nilai Kp = 1,5169, Ki = 37,1998 dan Kd = 0,0008. Dengan hasil perbandingan yang tidak beda jauh, untuk level ketinggian selisih 0,01 mm dan konsentrasi hanya berbeda dipengujian pertama dengan selisih *error* 1% lebih rendah dibandingkan PID *Ziegler-Nichols 1*. Pada waktu tempuh dari awal hingga proses selesai, PID lebih unggul dengan selisih waktu 5-6 detik pada setiap pengujian.
3. Perbandingan hasil pengujian antara parameter PI dan PID, dengan nilai dari PI sebagai berikut, Kp = 12,9 dan Ki = 204,76. Dari hasil pengujian ini pun hasilnya tidak jauh berbeda, selisih level ketinggian *water coolant* adalah 0,02 mm dan konsentrasi dari beberapa kali pengujian hasilnya pada konsentrasi 4%. Pada waktu tempuh dari awal hingga proses selesai, PID lebih unggul dengan selisih waktu 9-12 detik pada setiap pengujian.
4. Untuk pengujian keakuratan pengisian *water coolant* metode yang diterapkan ini belum bisa dengan tepat pada *set point* yang ditentukan.

Akan tetapi bisa dikatakan bahwa metode ini menyelesaikan masalah tersebut. Jika dibandingkan dengan tenaga manusia atau secara manual *error* dengan selisih hanya 0,1 cm dari *set point* merupakan kesalahan yang kecil.

5.2. Saran

Setelah melakukan beberapa pengujian pada sistem ini kami menemukan adanya kekurangan yaitu yang pertama tentang sensor salinitas yang seharusnya bisa digunakan untuk mengukur kadar konsentrasi *coolant* yang terlarut. Karena mungkin ini masih percobaan dan sebenarnya ada alat ukur yang digital, akan tetapi dengan harga selangit.

Yang kedua adalah jika kedepannya penelitian ini dilanjutkan kami menyarankan untuk menambahkan sensor *flow* pada pompa agar tahu berapa kecepatan aliran yang dihasilkan. Sehingga perhitungan yang dilakukan menjadi semakin akurat.

Untuk yang terakhir ada pada tangki yang besar bisa ditambahkan dengan motor DC sebagai pengaduk, sehingga bisa lebih akurat dalam proses pembacaan pada sensor salinitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. R. Setiawan, M. A. Muslim, and D. Nusantoro, "PID Menggunakan Visual Basic 6 . 0 Dan," pp. 1–6, 2012.

[2] H. P. Rachmat Agung H, Muhammad Rivai, "Alat Penentu Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols pada Sistem Pemanas Air," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, p. 5, 2015.

[3] S. P. Wibowo and R. Novita, "Penentuan Parameter PID Dengan Metode Ziegler-Nichols Untuk Pengendalian Flow Indicator Controller 12 – FIC – 219 Pada Control Valve 12 – FV – 219," vol. 5, pp. 1–8, 2020.

[4] E. Prawira Sidiq Zaelani, "IMPLEMENTASI PERANCANGAN KENDALI PID DENGAN METODE ZIEGLER-NICHOLS 1 PADA."

[5] Z. Jamal, "Implementasi Kendali Pid Penalaan Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler," *J. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–88, 2015.

[6] M. Araki, "PID CONTROL," vol. II.

[7] K. Ogata, *SYSTEM DYNAMICS*, vol. Fourth Edi. .

[8] A. Setiawan, "PROSES PEMBUATAN PART HINGE RIB 4 L5745744320101 KOMPONEN PESAWAT AIR BUS A380 PADA MESIN DMC 210 U PT. DIRGANTARA INDONESIA (Persero)," 2015.

[9] Emindotripanca, "Pentingnya Coolant Pada Mesin Milling dan Mesin Bubut," 2020. https://emindotripanca.com/pentingnya-coolant-pada-mesin-milling-dan-mesin-bubut/.

[10] H. A. Dharmawan, *Mikrokontroler*. Malang: UB Press, 2017.

[11] M. Cahyadi, E. Nasrullah, and A. Trisanto, "Rancang Bangun Catu Daya DC 1V–20V Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler," *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 99–109, 2016, [Online]. Available: http://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/viewFile/214/p

df.

[12] P. F. Abdul Aziz, “Implementasi Robot Beroda Menggunakan Driver L298N Melalui Mpu-6050 Sebagai Kendali Gestur Tangan,” pp. 1–72, 2020.

[13] D. Firmansyah, I. Lammada, and G. L. Sari, “Implementation of Automatic Pump Control on Sea Water Destilation System,” *Electro Luceat*, vol. 6, no. 2, pp. 299–307, 2020, doi: 10.32531/jelekn.v6i2.268.

[14] Y. A. Badamasi, “The working principle of an Arduino,” *Proc. 11th Int. Conf. Electron. Comput. Comput. ICECCO 2014*, 2014, doi: 10.1109/ICECCO.2014.6997578.

[15] N. Fitriani and W. Indrasari, “PENGUKURAN SALINITAS AIR SUNGAI TERCEMAR LIMBAH CAIR MENGGUNAKAN,” vol. VIII, pp. 65–70, 2019.

[16] T. O. E. P. User, U. Sensor, C. T. Sdn, and A. R. Reserved, “User ’ s Manual,” no. May, pp. 1–10, 2013.

[17] M. Amin, R. Ananda, J. Eska, S. Komputer, and S. R. Kisaran, “ANALISIS PENGGUNAAN DRIVER MINI VICTOR L298N TERHADAP MOBIL ROBOT DENGAN DUA PERINTAH ANDROIDDAN ARDUINO NANO,” vol. VI, no. 1, pp. 51–58, 2019.

[18] A. Genialdi and Syahrul, “SISTEM KONTROL OTOMATIS PENGISIAN VOLUME CAIRAN DALAM BOTOL.”

[19] Silicon Craft, *SC2004A—20x4 Characters Serial LCD Display User’s Manual*. 2010.

LAMPIRAN

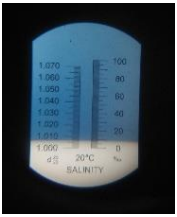
Lampiran A: Proses Pengujian

Gambar berikut ini merupakan proses pengujian untuk sensor salinitas dengan menggunkan sampel air bio dan *coolant* asli dengan perbandingan 5%.

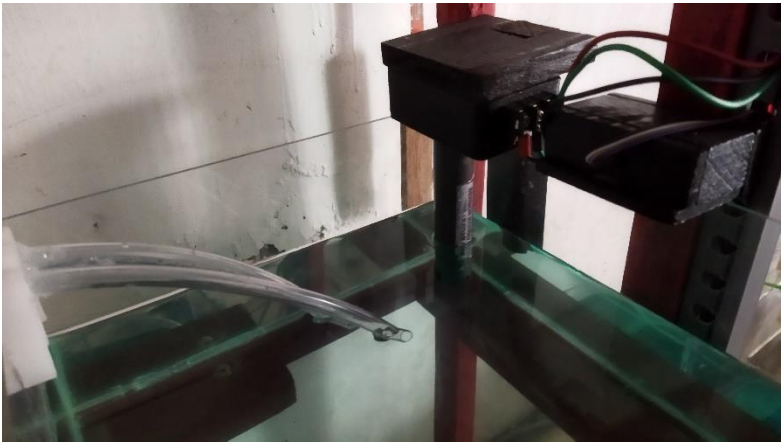
Gambar berikut merupakan beberapa sampel yang akan diujikan

Setelah menentukan sampel yang akan digunakan, maka agar data yang diperoleh benar-benar valid, diperlukanlah alat ukur yang sebenarnya untuk mengukur konsentrasi pada setiap sampel. Alat ukur tersebut yaitu refraktometer. Berikut ini merupakan gambar refraktometer dan hasil pembacaannya.

Berikut merupakan hasil permbacaan dari refraktometer:

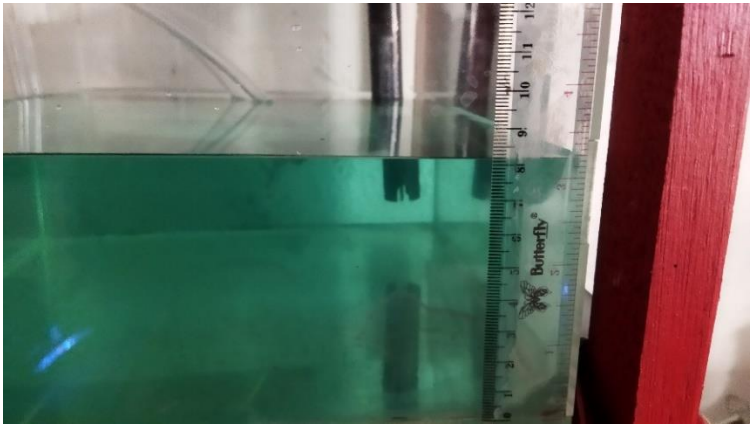


Berikut ini merupakan pengujian akhir pada sensor salinitas yang sudah terpasang dengan sistem yang dibuat.



Setelah melakukan proses pengujian dengan menggunakan sensor salinitas, selanjutnya adalah melakukan pengujian pada sensor ultrasonik. Berikut merupakan proses pengujian sensor ultrasonik.

Pada gambar berikut ini merupakan pengujian sensor ultrasonik yang sudah terpasang pada sistem yang sudah dibuat.



Dari pengujian sensor pada alat didapatkan hsil pembacaan sensor ultrasonik ialah sebagai berikut:

No.	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	4	3.76	16	14.1376	15.04
2	4	4.7	16	22.09	18.8
3	4	4.61	16	21.2521	18.44
4	4	4.65	16	21.6225	18.6
5	4	4.58	16	20.9764	18.32

No.	X	Y	X^2	Y^2	XY
6	5	4.23	25	17.8929	21.15
7	5	5.67	25	32.1489	28.35
8	5	5.19	25	26.9361	25.95
9	5	5.6	25	31.36	28
10	5	5.65	25	31.9225	28.25
11	6	5.12	36	26.2144	30.72
12	6	6.25	36	39.0625	37.5
13	6	5.73	36	32.8329	34.38
14	6	6.5	36	42.25	39
15	6	6.28	36	39.4384	37.68
16	7	6.07	49	36.8449	42.49
17	7	7.09	49	50.2681	49.63
18	7	7.15	49	51.1225	50.05
19	7	7.38	49	54.4644	51.66
20	7	7.1	49	50.41	49.7
21	8	7.48	64	55.9504	59.84
22	8	8.05	64	64.8025	64.4
23	8	8.1	64	65.61	64.8
24	8	8.81	64	77.6161	70.48
25	8	8.74	64	76.3876	69.92
26	9	8.28	81	68.5584	74.52
27	9	9.48	81	89.8704	85.32
28	9	9.53	81	90.8209	85.77
29	9	9.34	81	87.2356	84.06
30	9	9.49	81	90.0601	85.41
31	10	10.17	100	103.429	101.7
32	10	10.83	100	117.289	108.3
33	10	10.82	100	117.072	108.2
34	10	10.7	100	114.49	107
35	10	10.8	100	116.64	108
36	11	11.12	121	123.654	122.32
37	11	11.72	121	137.358	128.92
38	11	11.72	121	137.358	128.92
39	11	11.6	121	134.56	127.6
40	11	11.7	121	136.89	128.7
41	12	11.59	144	134.328	139.08

No.	X	Y	X^2	Y^2	XY
42	12	12.18	144	148.352	146.16
43	12	12.25	144	150.063	147
44	12	12.13	144	147.137	145.56
45	12	12.2	144	148.84	146.4
46	13	12.55	169	157.503	163.15
47	13	12.72	169	161.798	165.36
48	13	12.31	169	151.536	160.03
49	13	12.3	169	151.29	159.9
50	13	12.33	169	152.029	160.29
50	**425**	**434.35**	**4025**	**4171.78**	**4090.82**

Lampiran B : Datasheet Sensor Salinitas

DATASHEET

SENSOR KONDUKTIVITAS / TDS / KADAR GARAM

Tipe Aplikasi :

- Sensor konduktivitas (conductivity sensor)
- Sensor TDS (total dissolve solid)
- Sensor kadar garam (salinity sensor)

Spesifikasi :

- Bekerja pada tegangan DC 5 Volt
- Support arduino dan mikrokontroller lainnya
- Koefisien linearitas data konduktivitas sebesar 0.9639
- Koefisien linearitas data TDS sebesar 0.983
- Memiliki sensitivitas pada bahan yang bersifat konduktif
- Kedalaman cairan pada saat pengukuran sebesar 5.5 cm dari ujung sensor
- Rumus persamaan umum konversi data konduktivitas **y = 0.2142x + 494.93, dimana : x = nilai ADC, dan y=konduktivitas**
- Rumus persamaan umum konversi data TDS **y= 0.3417x + 281.08, dimana : x = nilai ADC, dan y=TDS**

DESKRIPSI

SENSOR KONDUKTIVITAS / TDS / KADAR GARAM

Pin	Deskripsi
5V	5V arduino
Gnd	GND arduino
Output	Output ke pin A0 arduino

Tabel 1. Pin Sensor

Sensor Konduktivitas / TDS / Kadar Garam memiliki desain yang kompak. Probe sensornya berbahan stik stainless yang berfungsi sebagai penerima data dari bahan yang diuji. Sensor ini dapat langsung disambungkan dengan pin analog arduino maupun pin analog mikrokontroller lainnya, tanpa harus memakai modul penguat tambahan.

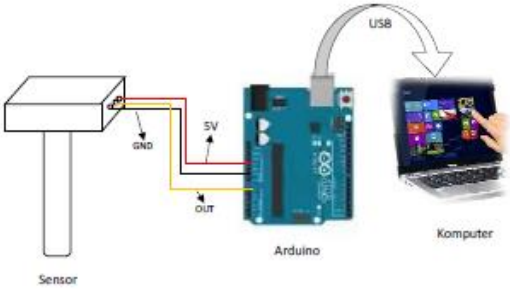
KARAKTERISTIK

SENSOR KONDUKTIVITAS / TDS / KADAR GARAM

Parameter	Simbol	Min	Max	Units
Tegangan masukan	Vcc		5.0	V
Tegangan operasional	Vcc	3.0	4.7	V
Tegangan keluaran	ADC	0	1023	ADC
Respon waktu	t	0.1	0.3	s
Sensitivitas	Vcc	0.1	0.5	V

Tabel 2. Karakteristik Sensor

DIAGRAM KONEKSI



Gambar 9. Diagram Koneksi Sensor ke Arduino dan Komputer

LAMPIRAN TABEL

A. DATA UJI KONDUKTIVITAS

N0	Garam Yodium(gr)	Air (ml)	ADC Sensor	Konduktivitas (µS)
1	4	100	431	588
2	8	100	446	589
3	12	100	453	593
4	16	100	466	594
5	20	100	468	595
6	24	100	478	597
7	28	100	482	598
8	32	100	485	600
9	36	100	496	601

Tabel 10. Data uji konduktivitas

Didapatkan persamaan :

y = 0.2142x + 494.93, dimana : x = nilai ADC, dan y=konduktivitas

B. DATA UJI TDS

N0	Garam Non Yodium (gr)	Air (ml)	ADC Sensor	TDS (ppm)
1	50	100	456	436
2	100	100	498	449
3	150	100	518	458
4	200	100	537	469
5	250	100	561	474
6	300	100	621	491

Tabel 11. Data uji TDS

Didapatkan persamaan :

y= 0.3417x + 281.08, dimana : x = nilai ADC, dan y=TDS

Lampiran C: Datasheet Sensor Ultrasonik

Tech Support: services@elecfreaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:
(1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
(2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
(3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.
Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

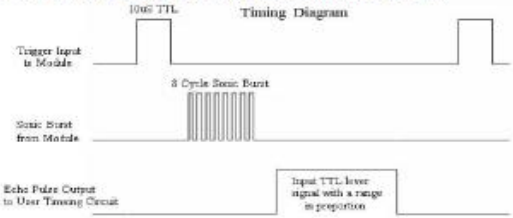
- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm

Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion .You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: uS / 58 = centimeters or uS / 148 =inch; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Attention:

- The module is not suggested to connect directly to electric, if connected electric, the GND terminal should be connected the module first, otherwise, it will affect the normal work of the module.
- When tested objects, the range of area is not less than 0.5 square meters and the plane requests as smooth as possible, otherwise ,it will affect the results of measuring.

www.Elecfreaks.com

---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BIODATA PENULIS

Penulis yang memiliki nama lengkap Nefri Denianto ini merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis dilahirkan di Tuban pada tanggal 8 Februari 1999. Pada tahun 2005, penulis menyelesaikan pendidikannya di SD Negeri Genaharjo I. Tahun 2011, penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Negeri 2 Semanding. Tahun 2017 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMA Negeri 2 Tuban. Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Rekayasa Otomasi Fakultas Vokasi ITS Surabaya dengan NRP 10311710000097.