Institut Teknologi Sepuluh Nopember

PROYEK AKHIR – VM191879

ANALISIS KARAKTERISTIK ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* UNTUK PERCOBAAN GENAP BERBASIS FESTO TP 511

INTAN FILA MILLINIA
NRP 10211810010031

Dosen Pembimbing
Ir. Arino Anzip, MEngSc
NIP. 19610714 198803 1 003

Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

PROYEK AKHIR – VM191879

ANALISIS KARAKTERISTIK ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* UNTUK PERCOBAAN GENAP BERBASIS FESTO TP 511

INTAN FILA MILLINIA

NRP 10211810010031

Dosen Pembimbing

Ir. Arino Anzip, MEngSc

NIP. 19610714 198803 1 003

Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

FINAL PROJECT - VM191879

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* FOR EVEN NUMBER EXPERIMENT BASED ON FESTO TP 511

INTAN FILA MILLINIA
NRP 10211810010031

Advisor
Ir. Arino Anzip, MEngSc
NIP. 19610714 198803 1 003

Study Program of Energy Conversion Engineering
Department of Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocational Studies
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KARAKTERISTIK ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* UNTUK PERCOBAAN GENAP BERBASIS FESTO TP 511

LEMBAR PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada
Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Proyek Akhir :

1. Ir. Arino Anzip, MEngSc
NIP. 19610714 198803 1 003 ....

Penguji Proposal Proyek Akhir :

1. **Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D.**
   NIP. 19751206 200501 1 002 ....
2. **Ir. Joko Sarsetiyanto, MT**
   NIP. 19610602 198701 1 001 ....
3. **DR. Ir. Mahirul Mursid, MSc**
   NIP. 19620626 198903 1 003 ....

SURABAYA
JULI 2022

APPROVAL SHEET

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULICS PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM FOR EVEN NUMBER EXPERIMENT BASED ON FESTO TP 511

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Bachelor of Applied Science (B.App.Sc) at
Undergraduate Study Program of Technology of Energy Conversion Engineering
Department of Industrial Mechanical Engineering
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **INTAN FILA MILLINIA**
NRP. 10211810010031

Approved by Final Project Examiner Team :

1. **Ir. Arino Anzip, MEngSc** **Advisor**
   NIP. 19610714 198803 1 003 ....
2. **Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D.** **Examiner**
   NIP. 19751206 200501 1 002 ....
3. **Ir. Joko Sarsetiyanto, MT** **Examiner**
   NIP. 19610602 198701 1 001 ....
4. **DR. Ir. Mahirul Mursid, MSc** **Examiner**
   NIP. 19620626 198903 1 003 ....

SURABAYA
JULI 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP	: Intan Fila Millinia / 10211810010031
Departemen	: Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing / NIP	: Ir. Arino Anzip, MEngSc / 19610714 198803 1 003

dengan ini menyatakan bahwa Proyek Akhir dengan judul "Analisis Karakteristik *Electrohydraulics Pressure Closed Loop System* untuk Percobaan Genap Berbasis FESTO TP 511" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2022

Mengetahui	
Dosen Pembimbing	Mahasiswa,
Ir. Arino Anzip, MEngSc	**Intan Fila Millinia**
NIP. 19610714 198803 1 003	NRP. 10211810010031

STATEMENT OF ORISINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP	: Intan Fila Millinia / 10211810010031
Department	: Industrial Mechanical Engineering
Advisor / NIP	: Ir. Arino Anzip, MEngSc / 19610714 198803 1 003

hereby declare that the Final Project with the title of "Analysis of Characteristics of Electrohydraulics Pressure Closed Loop System for Even Number Experiment Based On FESTO TP 511" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 July 2022

Acknowledged

Advisor

<u>Ir. Arino Anzip, MEngSc</u>

NIP. 19610714 198803 1 003

Student,

<u>Intan Fila Millinia</u>

NRP. 10211810010031

ANALISA KARAKTERISTIK *ELECTROHYDRAULICS PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* UNTUK PERCOBAAN GENAP BERBASIS FESTO TP 511

Nama Mahasiswa/NRP : Intan Fila Millinia / 10211810010031
Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Arino Anzip, MEngSc

ABSTRAK

Hidrolik merupakan teknologi yang berhubungan dengan kontrol dan transmisi daya menggunakan fluida cairan. Pada saat ini pengembangan hidrolik pada laboratorium hidrolik & pneumatik Departemen Teknik Industri masih berada pada tahap elektrohidrolik *open loop*. Padahal dalam praktiknya, mesin-mesin industri skala besar telah didominasi oleh kontrol *closed loop*. Oleh karena itu dilakukan pengembangan dengan melaksanakan percobaan yang menggabungkan antara sistem hidrolik dan kontrol *closed loop* yang disebut elektrohidrolik *closed loop*.

Proyek akhir ini membahas mengenai analisa dari beberapa elemen pembangun sistem kontrol elektrohidrolik *closed loop* berdasarkan workbook hydraulic *closed loop* FESTO TP 511. Terdapat lima percobaan yang dilakukan menggunakan sirkuit yang sudah ada pada mesin mesin industri. Analisa ditekankan pada karakteristik katup, pengaturan mode kontrol tingkat optimal, karakteristik mode kontrol D, PD, PID serta membandingkan stabilitas sistem dengan parameter mode kontrol yang didapatkan dari metode Ziegler-Nichols dan metode empiris.

Pada percobaan ini didapatkan status kinerja katup yang memiliki nilai hyseteresis sebesar 0.8%, *pressure* gain 2%, offset 0.2V, dan memiliki overlap negatif. PID *Controller Card* yang bertindak sebagai kontroler memilik prosentase *error* sebesar 1.6%. Pada analisa kualitas mode kontrol, dengan input 2V didapatkan nilai K_P optimal adalah 5 dengan nilai *overshoot* 0V, deviasi 0V, dan *settling time* 44ms. Sedangkan nilai limit *stability* (Kp_{crit}) untuk masing-masing input adalah 1V=19, 2V=21, 3V=23. Karakteristik mode kontrol D dapat diketahui dengan input sinyal ramp. Dengan amplitudo 10 V_{PP}, frekuensi 1 Hz, serta Kd 20ms, didapatkan y (variabel koreksi) sebesar 0.8V yang dapat dilihat dari besar *magnitude* yang dihasilkan oleh mode kontrol D pada sinyal ramp. Pada mode kontrol PD, dengan K_P 0.5 dan K_D 25ms didapatkan T_v sebesar 40ms. Sedangkan fungsi transisi mode kontrol PID ditunjukan pada bentuk gelombang osiloskop dengan impuls sebagai waktu peralihan (D), nilai awalan atau pertambahan (P), dan minimalisasi *error* (I). Pengaturan parameter mode kontrol dengan sistem dan input yang sama sebesar 3 V_{PP}, frekuensi 5 Hz, didapatkan nilai koefisien dengan metode Ziegler-Nichols K_P 12.6, K_I 787.5, K_D48.38 dan metode empiris K_P 10, K_I 100, K_D 46. Dari hasil percobaan, diketahui bahwa koefisien mode kontrol yang dihasilkan kedua metode tersebut menghasilkan sistem yang stabil, namun metode empiris memiliki kualitas kontrol yang lebih baik.

Kata kunci : Elektrohidrolik *closed loop*, PID, Ziegler-Nichols.

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* FOR EVEN NUMBER EXPERIMENT BASED ON FESTO TP 511

Nama Mahasiswa/NRP : Intan Fila Millinia / 10211810010031

Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Arino Anzip, MEngSc

ABSTRACT

Hydraulics is a technology related to the control and transmission of power using fluid. At this time, the development of hydraulics in the hydraulic & pneumatic laboratory of the Department of Industrial Mechanical Engineering is at the electrohydraulics open loop stage. Whereas in practice, large-scale industrial machines have been dominated by *closed loop* control. Therefore, development is carried out by do the experiments that combine hydraulic *system*s and *closed loop* control called electrohydrolics *closed loop*.

This final project discusses about the analysis of several supporting elements of the *closed loop* electrohydrolic control *system* based on the FESTO TP 511 hydraulic *closed loop*. There are five experiments conducted using existing circuits on industrial machinery. The analysis emphasized on valve characteristics, setting the optimal level of control mode, characteristics of D, PD, PID and comparing the stability of the *system* with the control mode parameters obtained from the Ziegler-Nichols method and empirical method.

In this experiment, the performance status of the valve has a hysteresis value of 0.8%, a *pressure* gain of 2%, an offset of 0.2V, and has a negative overlap. The PID *Controller Card* that acts as a controller has an error percentage of 1.6%.. In the analysis of quality control, with an input of 2V, obtained the optimal K_P value is 5 with an *overshoot* value of 0V, a deviation of 0V, and a *settling time* of 44ms. While the limit stability value (Kp_{crit}) for each input is 1V=19, 2V=21, 3V=23. The characteristics of the control mode of D can be known by the input of the ramp signal. With an amplitude 10 V_{PP}, a frequency 1 Hz, and a Kd 20ms, obtained a y (correcting variable) of 0.8V that can be seen from the magnitude generated by the D on the ramp signal. In control mode of PD, with a K_P 0.5 and K_D 25ms, a T_v of 40ms is obtained. While the transition function of the control mode of PID is shown in the oscilloscope waveform with impuls as the switching time (D), prefix or set value (P), and *error* minimization (I). Setting the parameters of the control mode with the same *system* and input by 3 V_{PP}, frequency 5 Hz, obtained the coefficient value with the Ziegler-Nichols method K_P 12.6, K_I 787.5, K_D48.38 and the empirical method K_P 10, K_I 100, K_D 46. From the results of the experiment, it is known that the coefficient of the control mode produced by the two methods have a stable *system*, but the empirical method has a better quality of control than Ziegler-Nichols method.

Keywords : **Electrohydraulics *closed loop*, PID, Ziegler-Nichols**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Proyek Akhir dengan judul “ANALISIS KARAKTERISTIK ELECTROHYDRAULICS *PRESSURE CLOSED LOOP SYSTEM* UNTUK PERCOBAAN GENAP BERBASIS FESTO TP 511”

Proposal ini digunakan dalam memenuhi standar kelulusan Departemen Teknik Mesin Industri dengan tujuan menerapkan ilmu di bangku perkuliahan pada masalah yang ada. Ucapan terimakasih penulis persembahkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian proyek akhir ini, khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT., sebagai Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS.
2. Ibu Dr. Atria Pradityana, ST., MT., sebagai Koordinator Program Studi Teknik Rekayasa Konversi Energi.
3. Bapak Ir. Arino Anzip, M.Eng, Sc, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam Proyek Akhir ini.
4. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukungan baik moral maupun material.
5. M. Fauzan Ramadhani dan Nafa Rizky Putra, teman satu bimbingan yang setiap saat selalu memberi bantuan.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberi bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.

Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan penulis. Penulis sadar bahwa proyek akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Dengan kerendahan hati penulis mohon kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan proposal ini dan pembelajaran kedepannya.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
PERNYATAAN ORISINALITAS iii
ABSTRAK v
KATA PENGANTAR vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR SIMBOL xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Manfaat 2
BAB 2 TINJUAN PUSTAKA 4
2.1 Sistem Kontrol 4
2.1.1 Sistem Kontrol Kontinu 4
2.1.2 Sistem Kontrol Diskrit 6
2.2 Reprentasi Sistem Kontrol 6
2.2.1 Sinyal Analog 7
2.2.2 Sinyal Digital 8
2.2.3 Sinyal ON/OFF 10
2.2.4 Programmable Logic Controllers (PLC) 10
2.3 Sistem Kontrol Hidrolik 11
2.3.1 Sistem Hidrolik Kontrol Manual 11
2.3.2 Elektrohidrolik Switching Valve 12
2.3.3 Elektrohidrolik Open Loop 14
2.3.1 Elektrohidrolik *Closed loop* 14
2.4 Sistem Kontrol *Closed loop* 16
2.4.1 Block Diagram Kontrol *Closed loop* 16
2.4.2 Gain 18
2.5 Katup Servo 19
2.5.1 Paramater Karakteristik Katup 21

2.6 Sistem Pengukuran 23
2.7 Function Generator 23
2.8 Kontroler 24
2.8.1 Kontroler Proposional (P) 24
2.8.2 Kontroler Integral (I) 25
2.8.3 Kontroler Diferensial (D) 27
2.8.4 Kontroler PI 28
2.8.5 Kontroler PD 29
2.8.6 Kontroler PID 30
2.9 Pengaturan Kontroler Metode Ziegler-Nichols 31
2.9.1 Metode ke-1 Ziegler-Nichols 32
2.9.1 Metode ke-2 Ziegler-Nichols 32
2.10 Parameter Kualitas Kontrol dari Mode Kontrol (Kontroler) 33
2.10.1 Amplitudo *Overshoot* 34
2.10.2 Sistem Deviasi *Steady state* 34
2.10.3 *Settling time* 34
2.10.4 Waktu Respon 34
2.10.5 Stability 34
2.11 Parameter Kesalahan Dalam Sistem Kontrol 35
2.11.1 Akurasi 35
2.11.2 Linearitas 35
2.11.3 Hysteresis 36
2.11.4 Deadband 36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 37
3.1 Pengenalan Percobaan 37
3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Proposal Proyek Akhir 37
3.3 Penjelasan Diagram Alir 39
3.3.1 Mulai 39
3.3.2 Studi Literatur 39
3.3.3 Alokasi Komponen 39
3.3.4 Pemasangan Komponen sesuai Workbook pada meja praktikum. 40
3.3.5 Pengoprasian Rangkaian 40
3.3.6 Pengambilan Data 40
3.3.7 Analisa & Pembahasan 40

3.3.8 Kesimpulan 40
3.3.9 Selesai 40
3.4 Daftar Komponen 40
3.5 Prosedur Percobaan 45
3.5.1 Prosedur Keselamatan 45
3.5.2 Prosedur Kontruksi 45
3.6 Percobaan 45
3.6.1 Percobaan 2 Hot-Forming Press 46
3.6.2 Percobaan 4 Thread Rolling Machine 48
3.6.3 Percobaan 6 Clamping Device 51
3.6.4 Percobaan 8 Pressing-in of Bearings 54
3.6.5 Percobaan 10 *Pressure* Roller of a Rolling Machine 58
BAB 4 PERCOBAAN DAN ANALISA PEMBAHASAN 60
4.1 Percobaan 2 : Hot-Forming Press 60
4.1.1 Blok Diagram 60
4.1.2 Data Hasil Percobaan 63
4.1.3 Karakteristik Kurva 64
4.1.4 Analisa Data Hasil Percobaan 69
4.2 Percobaan 4 Thread Rolling Machine 70
4.2.1 Blok Diagram 70
4.2.2 Data Hasil Percobaan 71
4.2.3 Analisa Data Hasil Percobaan 72
4.3 Percobaan 6 Clamping Device 73
4.3.1 Blok Diagram 74
4.3.2 Data Hasil Percobaan 76
4.3.3 Analisa Data Hasil Percobaan 81
4.4 Percobaan 8 Pressing-in of Bearings 82
4.4.1 Blok Diagram 82
4.4.2 Data Hasil Percobaan 83
4.4.3 Analisa Data Hasil Percobaan 92
4.5 Percobaan 10 Pressure Roller of a Rolling Machine 93
4.5.1 Blok Diagram 94
4.5.2 Data Hasil Percobaan 96
4.5.3 Analisa Data Hasil Percobaan 98

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 100
5.1 Kesimpulan 100
5.2 Saran 102
DAFTAR PUSTAKA 103
LAMPIRAN – 4/3 Way Regulating Valve 104
LAMPIRAN – PID Controller Card 106
BIODATA PENULIS 107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Kontrol Pengaturan 4
Gambar 2. 2 Skema Kontrol Hantaran Ke Depan 5
Gambar 2. 3 Skema Optimasi Keadaan Tetap 5
Gambar 2. 4 Skema Kontrol Adaptif 6
Gambar 2. 5 Reprentasi Data Analog 7
Gambar 2. 6 Sinyal Analog 7
Gambar 2. 7 Sinyal Transmisi Arus 8
Gambar 2. 8 Reprentasi Data Digital 8
Gambar 2. 9 Analog-to-Digital Converter 9
Gambar 2. 10 Local Area Networks (LAN) 9
Gambar 2. 11 Kontrol ON/OFF 10
Gambar 2. 12 PLC 11
Gambar 2. 13 Sistem Kontrol Hidrolik 11
Gambar 2. 14 Sistem Hidrolik dengan Kontrol Manual 12
Gambar 2. 15 Sistem Elektrohidrolik Switching Valve 13
Gambar 2. 16 Sistem Elektrohidrolik Open Loop 14
Gambar 2. 17 Sistem Elektrohidrolik Closed loop 15
Gambar 2. 18 Terminology Closed loop 17
Gambar 2. 19 Block Diagram Sistem Closed loop Posisi 19
Gambar 2. 20 Dynamic Directional Control Valve 19
Gambar 2. 21 Katup Servo 20
Gambar 2. 22 Hydraulic Zero Point 21
Gambar 2. 23 Asymmetry 21
Gambar 2. 24 Zero Overlap 22
Gambar 2. 25 Negative Overlap 22
Gambar 2. 26 Positive Overlap 23
Gambar 2. 27 Jenis-Jenis Sinyal 24
Gambar 2. 28 Transition Functional Proporsiona 25
Gambar 2. 29 Transition Function Integral 27
Gambar 2. 30 Transition Function Derivative 28
Gambar 2. 31 Transition Function Proporsional-Integral 29
Gambar 2. 32 Transition Function Proporsional-Derivative 30
Gambar 2. 33 Transition Function Proporsional-Integral-Derivative 31
Gambar 2. 34 Kurva Tanggapan Berbentuk S 32
Gambar 2. 35 Periode Kritikal 33
Gambar 2. 36 Kualitas Kontrol Mode Kontrol 33
Gambar 2. 37 Quarter Amplitude Decay 34
Gambar 2. 38 Stability 35
Gambar 2. 39 Liniear dan Hysteresis 36
Gambar 2. 40 Hysteresis 36
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan Proposal Proyek Akhir 39
Gambar 3. 2 4/3 Way Regulating Valve 41
Gambar 3. 3 Pressure Gauge 41
Gambar 3. 4 Pressure Filter 42

Gambar 3. 5 Pressure Sensor 42
Gambar 3. 6 Akumulator 42
Gambar 3. 7 Power Pack 43
Gambar 3. 8 PID Controller Card 43
Gambar 3. 9 Digital Multimeter 44
Gambar 3. 10 Osiloskop 44
Gambar 3. 11 Function Generator 44
Gambar 3. 12 Power Supply 45
Gambar 3. 13 Hot-Forming Press 46
Gambar 3. 14 Diagram Alir Percobaan 2 47
Gambar 3. 15 Thread Rolling Machine 48
Gambar 3. 16 Diagram Alir Percobaan 4 50
Gambar 3. 17 Clamping Device 51
Gambar 3. 18 Diagram Alir Percobaan 6 – Pertama 52
Gambar 3. 19 Diagram Alir Percobaan 6 – Kedua 53
Gambar 3. 20 Pressing-in of Bearings 54
Gambar 3. 21 Diagram Alir Percobaan 8 – Pertama 55
Gambar 3. 22 Diagram Alir Percobaan 8 – Kedua 56
Gambar 3. 23 Diagram Alir Percobaan 8 - Ketiga 57
Gambar 3. 24 Pressure Roller of a Rolling Machine 58
Gambar 3. 25 Diagram Alir Percobaan 10 58
Gambar 4. 1 Sirkuit listrik Percobaan 2 60
Gambar 4. 2 Rangkaian listrik Percobaan 2 61
Gambar 4. 3 Sirkuit hidrolik Percobaan 2 61
Gambar 4. 4 Rangkaian hidrolik Percobaan 2 62
Gambar 4. 5 Lubang A Pada Katup Servo 62
Gambar 4. 6 Lubang B Pada Katup Servo 63
Gambar 4. 7 Karakteristik Valve 64
Gambar 4. 8 Grafik Linear Range 65
Gambar 4. 9 Hydraulic Zero Point 66
Gambar 4. 10 Assymetry 67
Gambar 4. 11 Hysteresis 67
Gambar 4. 12 Grafik Range Sinyal A 68
Gambar 4. 13 Grafik Range Sinyal B 68
Gambar 4. 14 Sirkuit listrik Percobaan 4 70
Gambar 4. 15 Rangkaian listrik Percobaan 4 71
Gambar 4. 16 Rangkaian listrik Percobaan 6 75
Gambar 4. 17 Osilasi Kp 1 77
Gambar 4. 18 Osilasi Kp 3 77
Gambar 4. 19 Osilasi Kp 5 78
Gambar 4. 20 Osilasi Kp 7 78
Gambar 4. 21 Osilasi Kp 10 79
Gambar 4. 22 Osilasi Kp_{Crit} 1V 80
Gambar 4. 23 Osilasi Kp_{Crit} 2V 80
Gambar 4. 24 Osilasi Kp_{Crit} 3V 81
Gambar 4. 25 Sirkuit listrik Percobaan 8 82

Gambar 4. 26 Osiloskop Sinyal Step Mode Kontrol D 84
Gambar 4. 27 Plot Grafik Sinyal Step Mode Kontrol D 85
Gambar 4. 28 Osiloskop Sinyal Ramp Mode Kontrol D 86
Gambar 4. 29 Plot Grafik Sinyal Ramp Mode Kontrol D 86
Gambar 4. 30 Osiloskop Kontroler PD (1) 88
Gambar 4. 31 Plot Grafik Kontroler PD (1) 88
Gambar 4. 32 T_v Grafik Kontroler PD (1) 89
Gambar 4. 33 Osiloskop Kontroler PD (2) 90
Gambar 4. 34 Plot Diagram Kontroler PD (2) 90
Gambar 4. 35 T_v Grafik Kontroler PD (2) 91
Gambar 4. 36 Osiloskop Kontroler PID 92
Gambar 4. 37 Plot Diagram Kontroler PID 92
Gambar 4. 40 Sirkuit hidrolik Percobaan 10 94
Gambar 4. 41 Rangkaian hidrolik Percobaan 10 94
Gambar 4. 38 Sirkuit listrik Percobaan 10 95
Gambar 4. 39 Rangkaian listrik Percobaan 10 95
Gambar 4. 42 Keadaan Kp_{crit} dan T_{crit} 96
Gambar 4. 43 Kualitas Kontrol Ziegler-Nichols 97
Gambar 4. 44 Kualitas Kontrol Empiris 98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Katup Switching dan Katup Proporsional 14
Tabel 2. 2 Perbedaan Open Loop dan *Closed loop* 16
Tabel 2. 3 Perbedaan Katup Proporsional dan Servo 20
Tabel 2. 4 Penalaran Metode Ziegler-Nichols-1 32
Tabel 2. 5 Penalaran Metode Ziegler-Nichols-1 33
Tabel 3. 1 Alokasi Komponen 40
Tabel 4. 1 Daftar Komponen Percobaan 2 63
Tabel 4. 2 Data Percobaan 2 64
Tabel 4. 3 Daftar Komponen Percobaan 4 71
Tabel 4. 4 Data Percobaan 4– Variabel Input 72
Tabel 4. 5 Data Percobaan 4 – Summation Point 72
Tabel 4. 6 Data Percobaan 4 – Variabel Output 72
Tabel 4. 8 Daftar Komponen Percobaan 6 75
Tabel 4. 9 Data Percobaan 6 – Kualitas Kontrol 76
Tabel 4. 10 Data Percobaan 6 – Limit Stabilitas 79
Tabel 4. 11 Daftar Komponen Percobaan 8 83
Tabel 4. 12 Daftar Komponen Percobaan 10 95
Tabel 4. 13 Data Percobaan 10 – Koefisien Ziegler-Nichols 97
Tabel 4. 14 Data Percobaan 10 – Koefisien Empiris 97

DAFTAR SIMBOL

w = Reference Variable

x = Controlled Variable

y = Correcting Variable

e = Error

v = Interference Variable

K_I = Koefisien Integral

K_P = Koefisien Proporsional

K_D = Koefisien Diferensial

H = Hysteresis

G = Gain

p = Tekanan (bar)

A = Amplitudo (V)

f = Frekuensi (Hz)

V = Tegangan (Volt)

T_v = Derivative-action Time (ms)

T_n = Integral-action time (ms)

x_m = Overshoot (V)

e_{stat} = Sistem Deviasi (V)

T_a = Settling Time (ms)

Kp_{crit} = Koefisien Prpoporsional Critical

T_{crit} = Waktu Critical

c_m = output pengukuran

c_0 = offset atau intersepsi garis lurus

c = variabel yang akan diukur

m = gradien

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fluid power adalah teknologi yang berhubungan dengan kontrol dan transmisi daya menggunakan fluida bertekanan. *Fluid power* merupakan salah satu otot yang menggerakkan industri. Hal ini dikarenakan mesin-mesin modern pada industri menggunakan daya fluida untuk mengontrol, mengatur, ataupun menggerakkan. Terdapat dua macam bentuk dari *fluid power* yang diklasifikasikan menurut media penghantarnya, yaitu hidrolik dan pneumatik. Sistem hidrolik merupakan suatu pemindah daya dengan memanfaatkan media penghantar berupa fluida cairan (*liquid*) sedangkan sistem transmisi daya pneumatik menggunakan udara. Pada mulanya, teknologi *fluid power* hanya tersusun dari komponen sederhana yang memiliki skala yang kecil dengan sistem kerja manual. Namun dikarenakan *fluid power* memiliki banyak keuntungan pada pengaplikasiannya, maka teknologi *fluid power* mulai berkembang secara pesat.

Sejak perang dunia ke-2, hidrolik memiliki peran yang besar sebagai peralatan militer dan secara signifikan berdampak pada meluasnya penerapan hidrolik pada sektor industri pada saat ini. Sejalan dengan meroketnya industri dari waktu ke waktu menyebabkan segala proses pada produksi harus dilakukan secara efisien dengan kesalahan seminimum mungkin. Hal ini berdampak pada pengoptimalan mesin-mesin industri. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan untuk penggunaan teknologi hidrolik modern yang inovatif seperti sistem elektrohidrolik *closed loop*.

Sistem elektrohidrolik *closed loop* merupakan gabungan antara sistem kontrol *closed loop* dan elektrohidrolik. Dengan sistem ini maka memungkinkan untuk memanfaatkan secara penuh fungsi dari tiga metode dasar transmisi daya yang berupa listrik, mekanik, dan *fluid power*. Sistem elektrohidrolik *closed loop* akan memberikan kontrol posisi dan tekanan yang lebih akurat dengan menggunakan sinyal *feedback* untuk mendeteksi keluaran dari silinder hidrolik dan secara automasi membandingkan sinyal *feedback* tersebut dengan input awal dan melakukan tindakan lanjutan jika terdapat *error*. Dengan adanya teknologi otomasi yang digabungkan dengan *fluid power* ini, maka dapat meminimalisasi kesalahan serta meningkatkan keakuratan dan ketelitian dalam sistem.

Pada praktiknya, sistem elektrohidrolik *closed loop* sudah dipakai pada industri besar seperti mesin forging, mesin pejepit, mesin press, dll. Namun, terdapat beberapa detail yang sering terlewat jika tidak memiliki dasar teori yang berkaitan sehingga tidak dapat memanfaatkan sistem secara maksimal. Pada proses awal produksi, terdapat *setup* dan *adjustment* yang merupakan waktu untuk pemasangan, penyetelan, dan penyesuaian parameter mesin untuk mendapatkan spesifikasi hasil produksi yang diinginkan. Umumnya hal ini dilakukan oleh operator dengan acuan terhadap produk yang dihasilkan mesin. Penyetelan tersebut berlangsung hingga produk telah sesuai dengan spesifikasi dan tanpa ada kecacatan sehingga lamanya waktu bergantung pada pengalaman operator. Selain mempengaruhi waktu, penyetelan dengan cara seperti itu juga membuat bahan baku terbuang karena banyak produk cacat (*reject*) dari hasil pengaturan parameter untuk mendapatkan nilai optimal. Proses *set up* yang terlalu lama dan banyaknya jumlah produk cacat termasuk ke dalam *six big losses* yang berdampak pada penurunan efektivitas mesin tersebut.

Untuk meminimalisasi kerugian pada proses penyetalan, terdapat beberapa hal yang dapat digunakan sebagai pertimbangan oleh operator, yaitu seperti karakteristik setiap komponen yang digunakan, status kinerja dari komponen tersebut, serta metode pengaturan parameter yang efisien. Setiap komponen dalam mesin memiliki karakteristik yang dapat diketahui

kinerja serta caranya beroperasi. Hal ini dapat membantu operator untuk menentukan nilai-nilai *set up* yang digunakan dengan mempertimbang kapasitas yang dapat diterima setiap komponen hingga nilai optimal yang dapat dihasilkan oleh komponen tersebut. Karakteristik komponen ini juga dapat dilibatkan dalam pengecekan berkala saat *maintenance* sehingga dapat mengetahui kondisi mesin setiap saat. Selain dari segi komponen, terdapat pula metode efisien yang dapat dipertimbangkan bagi operator pemula untuk digunakan. Proses penyetelan tidak harus memerlukan operator berpengalaman yang dapat mengatur parameter mesin secara cepat dan akurat, namun dengan metode-metode yang telah ditemukan, operator yang masih minim pengalaman juga dapat melakukan penyetelan dengan efisien dan akurat.

Oleh karena beberapa pemaparan di atas maka dilakukan percobaan pengembangan sistem elektrohidrolik *closed loop* dengan menggunakan sirkuit kontrol dari mesin-mesin industri. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik serta kinerja beberapa komponen serta menilai kualitas kontrol dari metode penyetalan yang efisien. Percobaan dilakukan di Laboratorium Pneumatik & Hidrolik Program Studi S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin Industri – ITS dan diharapkan dapat dijadikan sebagai panduan untuk mahasiswa yang melakukan praktikum di laboratorium untuk mengembangkan kualitas mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri – ITS, serta mempersiapkan tenaga ahli dibidang *fluid power* yang menguasai otomatisasi di dunia hidrolik untuk menjawab kebutuhan tenaga ahli guna meningkatkan perindustrian di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik katup servo pada sistem elektrohidrolik *closed loop*?
2. Bagaimana status kinerja dari PID *Controller Card*?
3. Bagaimana mengatur kualitas kontrol pada keadaan optimal?
4. Bagaimana karakteristik dari mode kontrol D, PD, dan PID?
5. Bagaimana kualitas kontrol suatu sistem dengan parameter yang dihasilkan dari metode Ziegler-Nichols dan metode empiris?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Tugas akhir ini hanya terdiri dari percobaan pada satu buku, dimana dilakukan percobaan 1 – 11 pada percobaan yang genap.
2. Sirkuit listrik diambil dari electrohydraulics *closed loop* workbook urutan genap pada percobaan 1 – 11.
3. Percobaan dilakukan di Laboratorium Pneumatik & Hidrolik Departemen Teknik Mesin Industri – ITS.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Menganalisa karakteristik katup servo pada sistem elektrohidrolik *closed loop*.
2. Mengetahui status kinerja dari PID *Controller Card*.
3. Mengatur kualitas kontrol pada keadaan optimal.
4. Menganalisa karakteristik mode kontrol D, PD, dan PID.
5. Membandingkan kualitas kontrol suatu sistem dengan parameter yang dihasilkan dari metode Ziegler-Nichols dan metode empiris.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan Lab Hidrolik & Pneumatik Departemen Teknik Mesin Industri dalam materi hidrolik *closed loop*.
2. Menjadi panduan atau modul untuk mahasiswa melakukan praktikum hidrolik *closed loop*.

BAB 2
TINJUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kontrol

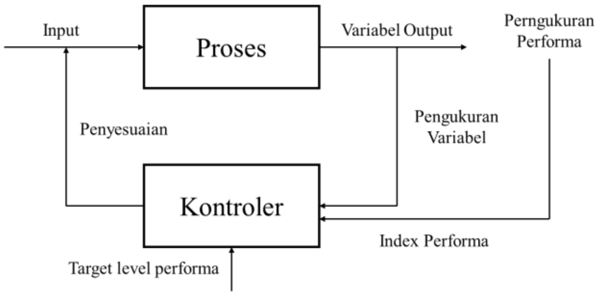
Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (parameter) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkuman harga (*range*) tertentu. Di dalam dunia industri, suatu proses kerja dituntut agar dapat berefisiensi tinggi dan aman untuk menghasilkan produk dengan kualitas dan kuantitas yang baik serta dengan waktu yang telah ditentukan. Ada banyak proses yang harus dilakukan untuk menghasilkan suatu produk sesuai standar, sehingga terdapat parameter yang harus dikontrol atau dikendalikan antara lain seperti tekanan (*pressure*), aliran (*flow*), suhu (*temperature*), ketinggian (*level*), kerapatan (*intensity*), dll.

2.1.1 Sistem Kontrol Kontinu

Sistem kontrol kontinu memiliki sifat yang terus-menerus. Variabel kontinu pada umumnya adalah analog, yang berarti dapat diambil suatu nilai dalam range tertentu. Contoh dari karakteristik variabel kontinu adalah gaya, temperature, kecepatan, dan laju aliran. Kontrol kontinu umumnya bertujuan untuk menjaga agar variabel output pada level yang diinginkan sama seperti operasi sistem kontrol umpan balik. Tetapi, kebanyakan proses kontinu dalam praktiknya terdiri dari banyak jaringan umpan balik, yang semuanya harus dikendalikan dan dikoordinasikan untuk menjaga variabel output pada nilai yang diinginkan. Terdapat beberapa pendekatan untuk mencapai tujuan pengendalian dalam sistem kontrol kontinu, diantaranya adalah kontrol dengan pengaturan, kontrol dengan hantaran ke depan, optimasi keadaan tetap, dan kontrol adaptif.

a. Kontrol dengan Pengaturan

   Kontrol dengan pengaturan bertujuan untuk menjaga agar performa proses pada level tertentu berada dalam daerah toleransi yang diberikan. Sebagai contoh: bila performa tersebut adalah suatu pengukuran kualitas produk sehingga sangat penting untuk menjaga agar kualitas tetap pada level spesifikasinya. Kelemahan sistem ini adalah tindakan pembanding dilakukan setelah gangguan terjadi pada output.

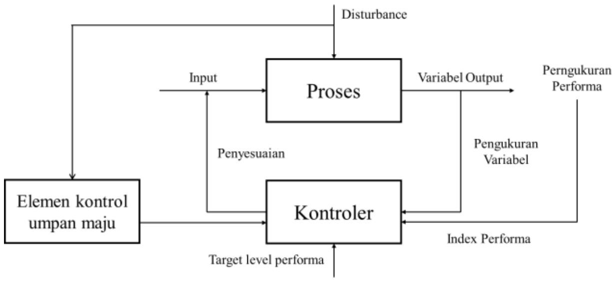


Gambar 2. 1 Skema Kontrol Pengaturan

b. Kontrol Hantaran Ke Depan

   Fungsi utama kontrol hantaran ke depan ini yaitu untuk mengantisipasi efek gangguan yang akan mengacaukan proses dengan cara mensensor dan mengkompensasikannya sebelum gangguan tersebut mempengaruhi proses. Dalam gambar di bawah ini, elemen-elemen kontrol hantaran ke

depan mensensor gangguan yang ada dan melakukan koreksi dengan mengatur parameter proses dan mengkompensasikannya untuk setiap gangguan yang terjadi pada proses. Dalam kondisi ideal kompensasi ini sangat efektif, tetapi pada kenyataannya sering terjadi penyimpangan dalam pengukuran *disturbance*, operasi aktuator, dan algoritma pengendalian sehingga sistem kontrol ini dikombinasikan dengan sistem kontrol umpan balik.



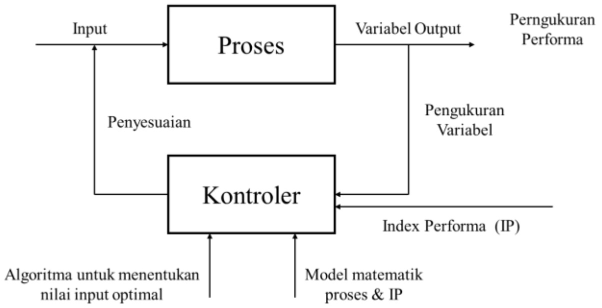
Gambar 2. 2 Skema Kontrol Hantaran Ke Depan

c. Optimasi Keadaan Tetap

Istilah optimasi keadaan tetap mengacu pada sebuah optimasasi dimana prosesnya menunjukkan karakteristik sebagai berikut :

   a. Terdapat index performasi yang telah didefinisikan dengan baik, seperti biaya produksi, laju produksi, atau hasil proses.
   b. Hubungan antara variabel proses dan index perform diketahui (dalam model matematik).
   c. Nilai parameter sistem yang mengoptimasi index performasi tersebut dapat ditentukan secara matematik.

Bila karakteristik ini diaplikasikan, maka dapat dilakukan pengaturan terhadap input parameter proses hingga dicapai keadaan optimal

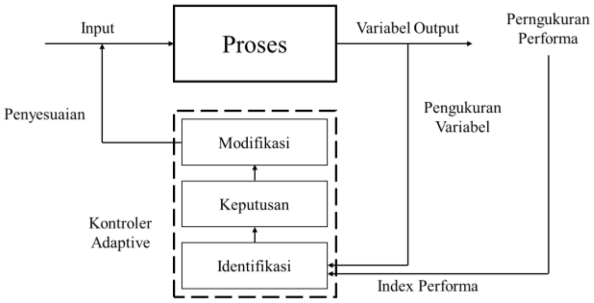


Gambar 2. 3 Skema Optimasi Keadaan Tetap

d. Kontrol Adaptif

Pada kontrol optimasi keadaan tetap pengoperasiannya merupakan sistem jaringan terbuka. Sistem ini akan bekerja sempurna bila tidak ada gangguan di luar hubungan yang diketahui antara parameter proses dan performasi proses. Bila dalam aplikasinya terdapat gangguan, maka untuk optimalisasi kontrol dibutuhkan bentuk koreksi sendiri yang disebut kontrol adaptif. Kontrol adaptif mengkombinasikan kontrol

umpan balik dan kontrol optimal dengan cara pengukuran variabel proses yang terkait selama operasi (sebagaimana dalam kontrol umpan balik) dan penggunaan algoritma kontrol untuk mengoptimalkan beberapa index performasi (sebagaimana dalam kontrol optimal).



Gambar 2. 4 Skema Kontrol Adaptif

2.1.2 Sistem Kontrol Diskrit

Variabel diskrit memiliki hanya satu nilai pada range tertentu. Jenis variabel diskrit yang paling umum adalah biner yang berarti memiliki 2 kemungkinan yaitu On atau Off, tertutup atau terbuka. Contoh variabel dan parameter biner diskrit adalah saklar.

Dalam kontrol diskrit, parameter dan variabel pada suatu sistem hanya bisa dirubah pada saat-saat tertentu, dengan memakai program instruksi. Perubahan tersebut dilakukan baik karena kondisi sistem telah selesai diubah atau karena waktu tertentu telah dicapai. Berdasarkan kedua hal tersebut, maka perubahan dapat dibedakan atas :

a. Perubahan gerak-kejadian

   Perubahan gerak-kejadian dilakukan oleh kontroler sebagai respon terhadap beberapa kejadian yang telah menyebabkan keadaan sistem berubah. Perubahan dapat terjadi pada saat awal operasi atau akhir operasi.

b. Perubahan gerak-waktu

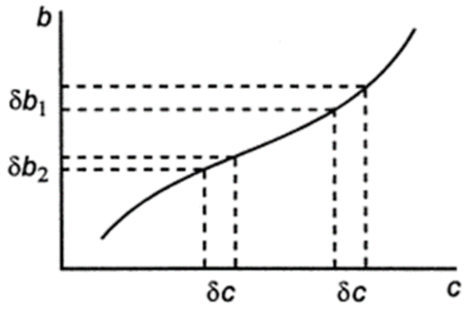
   Perubahan gerak waktu dilakukan oleh sistem kontrol sebagai respon terhadap pencapaian kondisi tertentu dalam kurun waktu tertentu atau dalam selang waktu tertentu setelah terjadi kondisi tertentu. Seperti pada perubahan gerak-kejadian, perubahan biasanya terjadi dari memulai sesuatu atau menghentikan sesuatu, dan waktu saat perubahan terjadi merupakan sesuatu yang utama.

2.2 Reprentasi Sistem Kontrol

Representasi adalah mekanisme tentang memberikan arti terhadap apa yang diberikan pada benda yang sebelumnya telah digambarkan. Mudahnya, representasi merupakan nilai yang mewakili variabel tertentu. Pada pengaturan sistem kontrol, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah mengenai bagaimana data tersebut diproses sehingga menghasikan nilai keluaran yang diinginkan. Representasi biasa diwujudkan dalam data ataupun sinyal. Sinyal adalah sebuah data atau informasi yang sudah mengalami beberapa proses sedemikian rupa hingga menjadi sebuah informasi matang untuk dikirim ke isntrumen yang dikontrol.

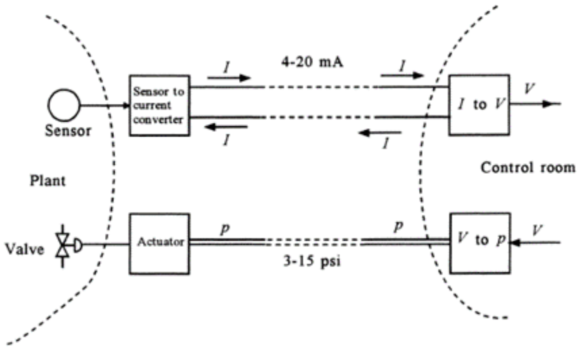
2.2.1 Sinyal Analog

Data analog diwujudkan dengan nilai variasi terus menerus (kontinu) antara representasi nilai variabel dan nilai itu sendiri. Dalam pemrosesan analog, fungsi pengontrol dalam sistem kontrol dilakukan oleh sirkuit elektronik dimana data diwakili oleh besarnya tegangan atau arus. Gambar 2.5 menunjukkan hubungan analog antara variabel c, dan representasinya, b. Untuk setiap nilai c dalam rentang yang telah ditandai, terdapat tingkah laku nilai b yang unik. Jika c mengalami perubahan sedikit, δc, maka nilai b juga akan berubah sebanding, δb.



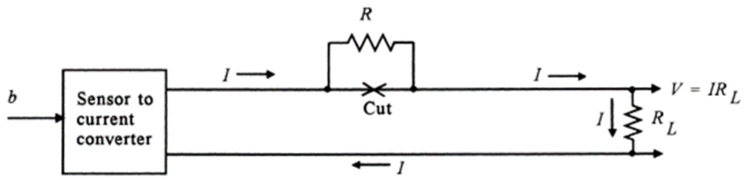
Gambar 2. 5 Reprentasi Data Analog

Pada sistem kontrol, bagian paling spesifik terdapat pada range variabel yang terlibat. Misalnya, jika pengontrol mengeluarkan sinyal ke katup kontinu, maka sinyal ini akan dirancang untuk mencakup rentang dari katup tertutup penuh hingga membuka penuh. Untuk mengirim sinyal, terdapat dua standar analog yang umum digunakan, diantaranya:



Gambar 2. 6 Sinyal Analog

A. Sistem listrik, umumnya menggunakan rentang arus yang disalurkan melalui kabel. Sinyal transmisi arus yang paling banyak digunakan adalah 4 hingga 20 mA. Pada praktiknya, arus memiliki keuntungan sehingga lebih dipilih daripada tegangan. Hal ini dikarenakan kecenderungan tegangan yang renta terhadap perubahan resistansi dalam saluran.



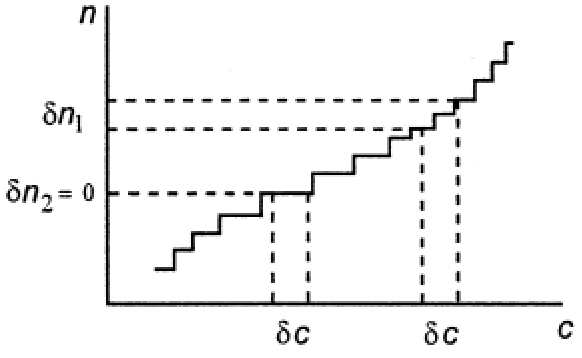
Gambar 2. 7 Sinyal Transmisi Arus

Pada Gambar di atas, sebuah resistor, R, telah ditambahkan ke saluran yang menghubungkan transmitter dengan ruang kontrol. Di ruang kontrol, arus yang masuk dari sistem telah diubah menjadi tegangan menggunakan resistor RL. Jika korsleting resistor R diputus sehingga R menjadi bagian dari rangkaian, arus tidak akan mengalami perubahan. Transmitter tersebut dirancang untuk menyesesuaikan kondisi (tegangan keluaran) sehingga arus tetap konstan. Sebagian besar transmitter saat ini dapat bekerja pada beban apa pun, dari 0 hingga sekitar 1000 Ω.

B. Sistem hidrolik dan pneumatik, menggunakan rentang tekanan fluida yang mengalir dalam pipa. Dalam hal ini, ketika sensor mengukur rentang variabel, maka nilai tersebut akan diubah menjadi tekanan proporsional dalam pipa. Standar Rentang SI ekivalen yang biasanya digunaka adalah 20 hingga 100 kPa.

2.2.2 Sinyal Digital

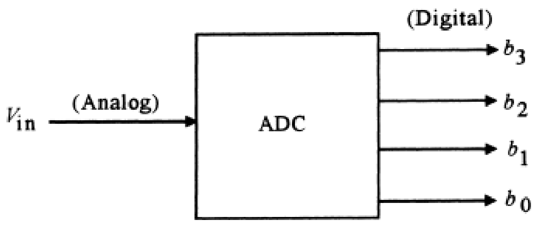
Data digital mempresentasikan bilangan binary (bit) yang memiliki nilai 1 dan 0. Ketika data ditampilkan dalam wujud digital, beberapa rentang nilai analog akan diubah menjadi nilai bit. Hal ini memiliki konsekuensi untuk kehilangan beberapa informasi karena bilangan bit memiliki batas resolusi. Seperti pada gambar di bawah ini, c merupakan nilai analog yang dipresentasikan oleh bilangan bits. Rentan perubahan c (δc) tidak membuat perubahan pada hasil bilangan bits.



Gambar 2. 8 Reprentasi Data Digital

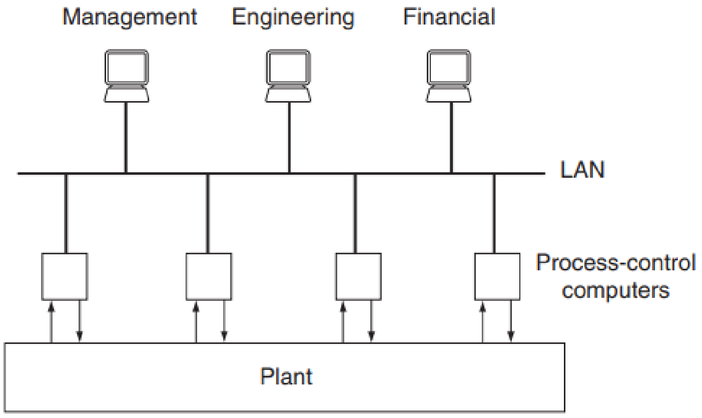
Kontrol digital melibatkan penggunaan komputer dalam aplikasi modern, walaupun begitu, di masa lalu sirkuit logika digital juga digunakan. Karena komputer menjadi lebih handal dan miniatur, maka komputer mengambil alih fungsi pengontrol.

Dengan demikian, loop pemrosesan analog disisihkan. Untuk menutupi kekurangan dari data digital, perangkat khusus dikembangkan untuk menkonversi data analog ke reprentasi digital. Perangkat ini dinamakan ADC (analog-to-digital converters). Pada sistem kontrol, sensor sering kali memproduksi keluaran berupa analog. Oleh karena itu, ADC digunakan untuk menkonversi keluaran sensor (analog) menjadi digital sebagai input komputer. Selain ADC, terdapat pula DAC (digital-to-analog converters) yang memiliki fungsi kebalikan dari ADC yaitu mengubah data digital yang keluar dari komputer menjadi data analog yang sesuai untuk menggerakkan *final control element*.



Gambar 2. 9 Analog-to-Digital Converter

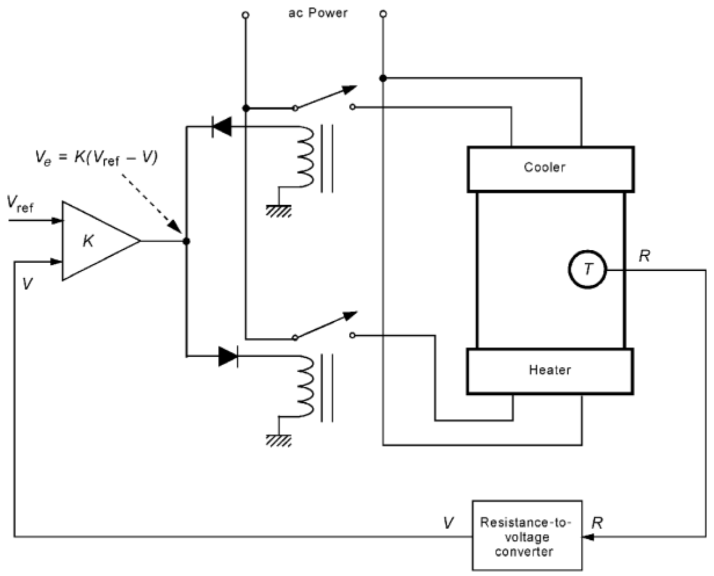
Seiring dengan kemajuan teknologi komputer, hal itu diiringi juga dengan kemajuan yang sama dalam aplikasi komputer untuk mengontrol sistem. Salah satu perkembangan yang luar biasa adalah integrasi mikroprosesor berbasis komputer pengontrol yang terhubung langsung ke rakitan sensor. Menggunakan teknologi sirkuit terintegrasi modern, sensor, pengkondisian sinyal, ADC, dan pengontrol komputer. Dalam kesatuan, unit ini juga berisi DAC dengan tegangan 4 hingga 20 mA output untuk diumpankan ke elemen kontrol akhir. Setpoint diprogram dengan menghubungkan komputer lain ke unit menggunakan saluran antarmuka serial. Teknologi terbaru ini bertujuan untuk menghubungkan sensor pintar ke lokal jaringan area (LAN) yang memungkinkan sensor dihubungkan ke komputer lain dan ke elemen kontrol akhir melalui saluran serial digital umum.



Gambar 2. 10 Local Area Networks (LAN)

2.2.3 Sinyal ON/OFF

Sistem kontrol ini dinamakan ON/OFF karena hanya memiliki dua nilai yaitu on dan off. Dapat dikatakan pula, keluaran dari pengontrol merupakan reprentasi data digital satu digit yaitu 0 dan 1. Pada sistem kontrol ON/OFF seperti di bawah ini, sistem bekerja dengan sensor yang memberikan keluaran data analog dan kemudian dibandingkan dengan variabel referensi menggunakan differential amplifier dengan menambah K untuk mengetahui *error* yang terjadi. *Error* yang dihasilkan akan membuat sistem mengambil keputusan proses selanjutnya sehingga diode dapat mengarahkan arus yang sesuai ke relay. Setelah tahap ini, sistem menjadi digital karena hanya ada dua kemungkinan untuk relay terbuka ataupun tertutup sehingga dapat mengaktifkan *final control element* yang diinginkan.



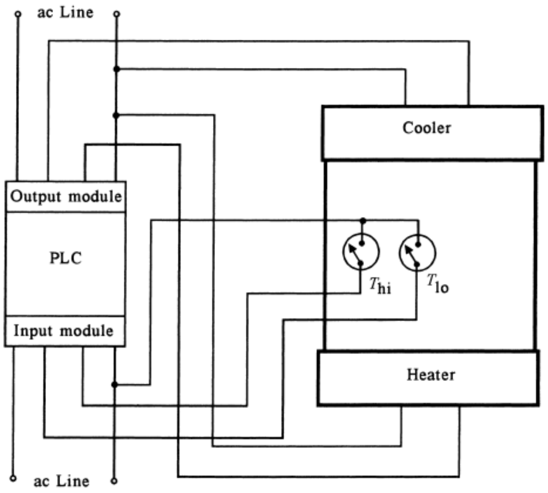
Gambar 2. 11 Kontrol ON/OFF

2.2.4 Programmable Logic Controllers (PLC)

Banyak operasi manufaktur yang bersifat ON/OFF seperti konveyor, pemanas, katup, dan seterusnya. Di masa lalu, jenis kontrol diskrit seperti ini sering disediakan oleh sistem relay listrik yang disambungkan menurut diagram kompleks menjadi pengontrol logika relay.

Dalam beberapa tahun terakhir, komputer juga telah mengambil alih pengoperasian pengontrol logika relai tersebut, yang dikenal sebagai programmable logic controllers (PLC). Meskipun awalnya dirancang untuk mengontrol sistem keadaan diskrit (ON/OFF), namun sekarang PLC juga digunakan untuk mengimplementasikan DDC (direct digital control).

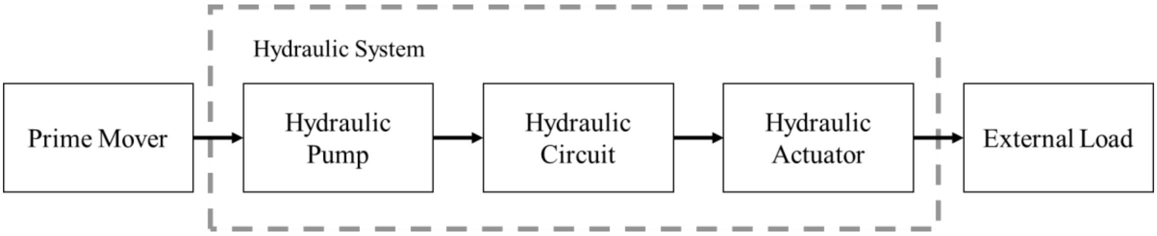
Pada contoh di bawah, sakelar batas termal digunakan sebagai pengganti sensor untuk menunjukkan kapan suhu naik di atas atau di bawah suhu batas. Ini hanyalah sakelar yang dirancang untuk membuka atau menutup ketika suhu mencapai batas preset tertentu.



Gambar 2. 12 PLC

2.3 Sistem Kontrol Hidrolik

Sistem hidrolik adalah sistem transmisi daya dengan menggunakan fluida cair. Prinsip dasar dari sistem hidrolik adalah hukum pascal. Zat cair bersifat inkompresibel, oleh karena itu tekanan yang diterima diteruskan ke segala arah secara merata (Pernama,2010). Sistem hidrolik terdiri dari *prime mover* berupa motor elektrik, pompa untuk memberikan tekanan pada fluida, sirkuit hidrolik yang merupakan susunan dari komponen-komponen hidrolik seperti katup, *hoseline, pressure gauge*, filter,dll, dan aktuator yang dapat berupa silinder ataupun motor.

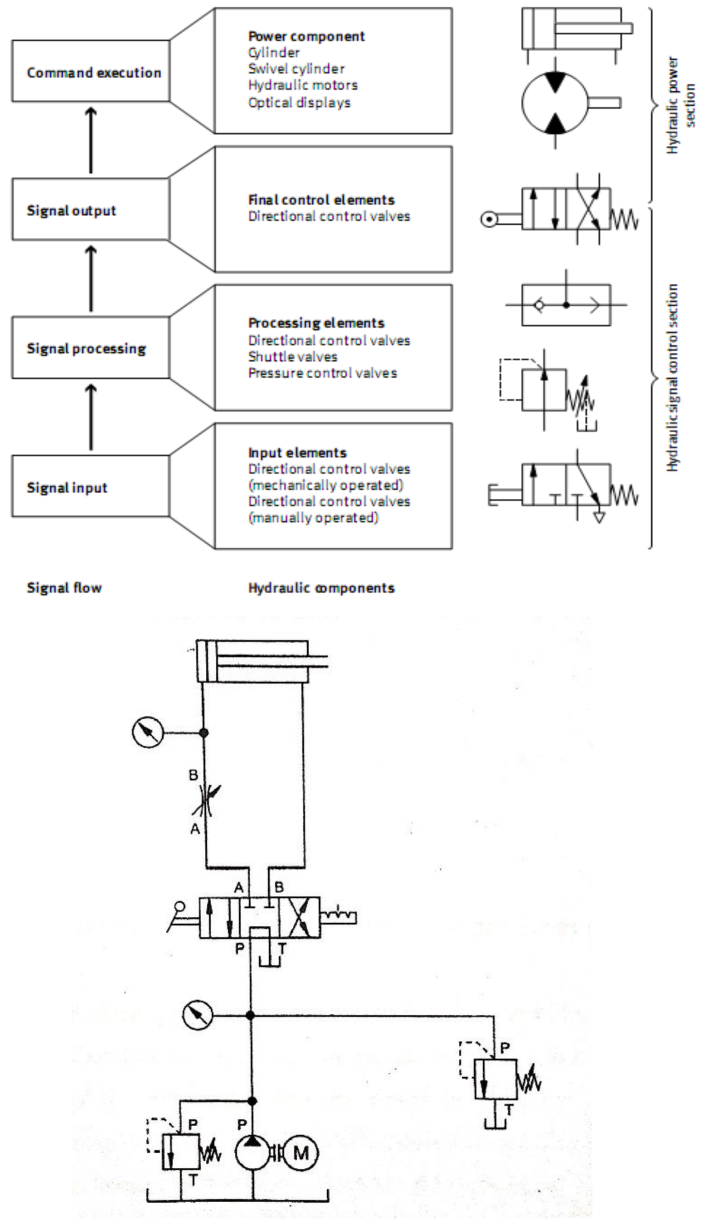


Gambar 2. 13 Sistem Kontrol Hidrolik

Hidrolik memiliki beberapa macam sistem kontrol yang dapat diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan. Sistem kontrol ini juga memengaruhi penggantian beberapa komponen yang digunakan pada sirkuit hidrolik. Perubahan itu umumnya terjadi pada katup yang mempunyai banyak cara pengaktuasian sehingga menyesuaikan sistem kontrol yang digunakan. Berikut adalah penjelasan mengenai sistem kontrol pada hidrolik.

2.3.1 Sistem Hidrolik Kontrol Manual

Sistem hidrolik kontrol manual adalah sistem hidrolik yang membutuhkan bantuan tenaga manusia untuk mengaktuasi katup sehingga fluida dapat mengalir dan memberikan tekanan pada aktuator untuk mendorong atau menggerakkan beban. Katup pada sistem kontrol manual umumnya diaktuasi secara manual dengan tuas, button, pedal, dll dan mekanik. Pada signal flow di bawah menunjukkan bahwa keseluruhan komponen yang digunakan pada sistem hidrolik kontrol manual adalah hidrolik murni.



Gambar 2. 14 Sistem Hidrolik dengan Kontrol Manual

Pada gambar di atas menunjukkajn bahwa sistem hidrolik dikendalikan secara manual dengan tuas.

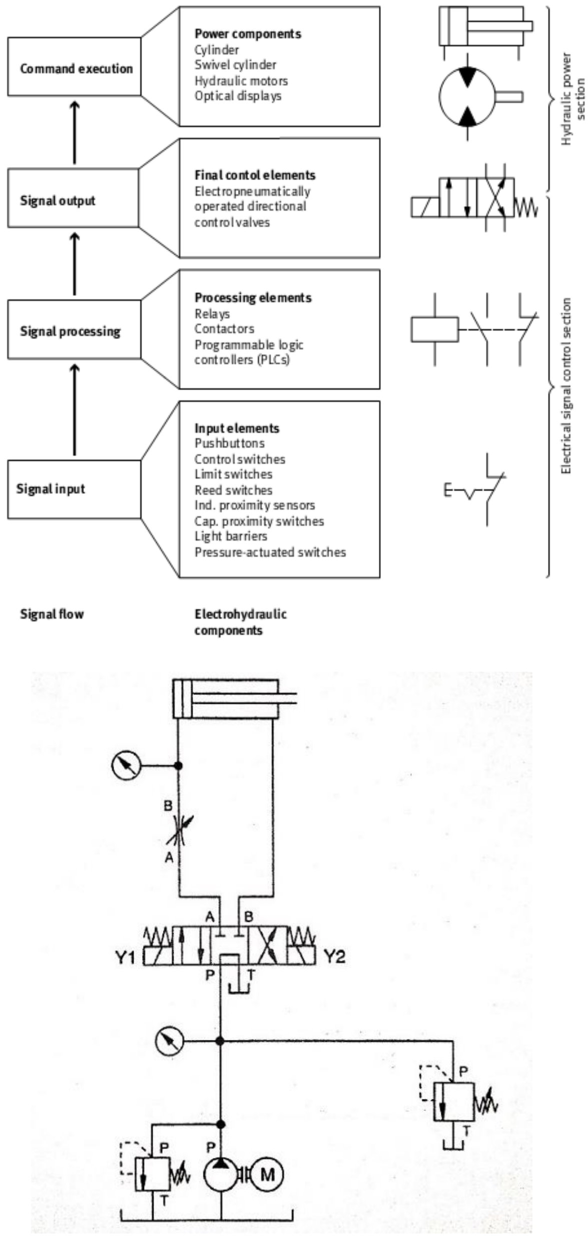
a. Katup dalam keadaan tertutup. Pengaktuasian dilakukan dengan cara menarik atau menggerakkan tuas. Begitupula untuk mengembalikannya ke keadaan semula.
b. Tekanan dan aliran yang dibutuhkan dapat diatur dengan menyetel *pressure relief valve* dan *flow control valve*.
c. Kapasitas dan arah aliran dapat diatur selama operasi bekerja secara manual menggunakan *directional control valve*.

2.3.2 Elektrohidrolik Switching Valve

Elektrohidrolik merupakan sistem kontrol hidrolik yang menggunakan arus listrik dalam pengoperasiannya. Ada beberapa macam katup yang digunakan pada sistem

kontrol elektrohidrolik, seperti *switching, proportional*, dan *servo valve*. Elektrohidrolik *switching valve* menggunakan aktuasi selenoida untuk menggerakkan *spool*. Katup *switching* merupakan katu yang hanya mempunyai dua keluaran yaitu terbuka sepenuhnya atau tertutup sepenuhnya sehingga katup ini merupakan versi transisi dari katup sistem kontrol manual yang dikembangkan.

Dari signal flow di bawah, menunjukkan bahwa elektrohidrolik memiliki komponen gabungan antara hidrolik murni dan komponen listrik. Sinyal input hingga sinyal proses menggunakan komponen listrik sedangkan sinyal output dan aktuator menggunakan komponen hidrolik katup dan silinder.

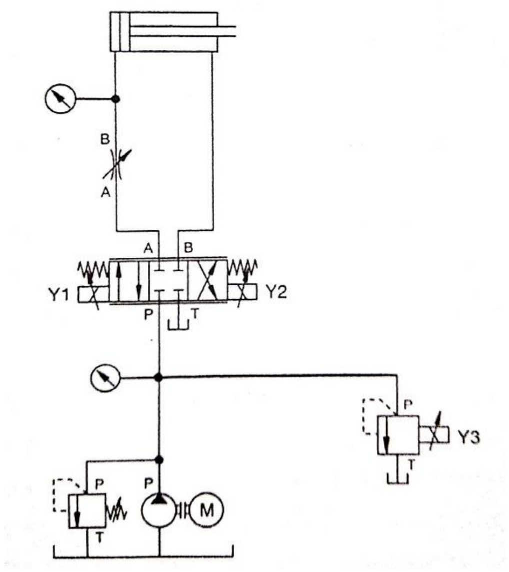


Gambar 2. 15 Sistem Elektrohidrolik Switching Valve

Sistem ini disebut juga sebagai sistem elektrohidrolik dengan *directional control valve* dikontrol secara listrik menggunakan selenoida. Untuk pengaturan tekanan dan aliran tidak dapat dilakukan pada saat sistem bekerja.

2.3.3 Elektrohidrolik Open Loop

Gambar di bawah ini menunjukkan elektrohidrolik open loop menggunakan katup proporsional. *Proportional directional control valve* dikontrol berdasarkan kontrol sinyal yang masuk (input) dan sinyal tersebut memengaruhi kapasitas aliran dan arah aliran yang dapat mengubah gerakan dari aktuator. Untuk pengendalian pada *pressure relief valve* dapat dikontrol dengan sinyal yang berbeda. Katup proporsional dikontrol secara listrik dan sinyal kontrol dapat diubah saat sistem bekerja. Pengurangan tekanan saat beban berkurang pada *pressure relief valve* adalah bentuk penghematan energi sistem. Sistem ini memungkinkan pengaturan masing-masing valve secara otomatis tanpa campur tangan manusia.



Gambar 2. 16 Sistem Elektrohidrolik Open Loop

Perbandingan katup *switching* dengan katup proporsional dapat dilihat pada table berikut :

Tabel 2. 1 Perbedaan Katup Switching dan Katup Proporsional

No	Karakteristik	Katup Switching	Katup Proporsional
1	Tipe Katup	Switching	Dinamik
2	Gerakan Katup	Terbatas	Kontinu
3	Akurasi	Rendah	Tinggi
4	Konsumsi Tenaga	Penuh	Sesuai Kebutuhan
5	Harga	Murah	Mahal

2.3.1 Elektrohidrolik *Closed loop*

Elektrohidrolik *closed loop* merupakan kesatuan yang terbentuk dari gabungan sistem hidrolik dan sistem kontrol *closed loop*. Pada praktiknya, sistem kontrol *closed loop* dapat diaplikasikan bersama dengan transmisi daya seperti listrik, mekanik,

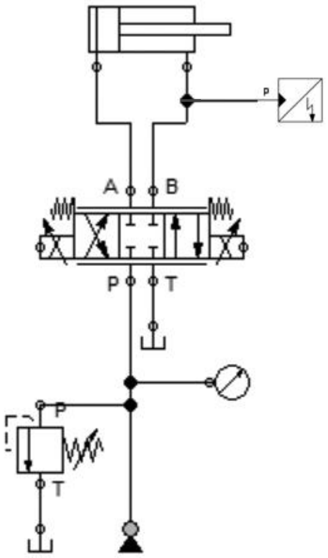
ataupun fluida. Hal ini bergantung terhadap fungsi dan kapasitas daya yang diinginkan.

Untuk menggabungkan sistem hidrolik dan sistem kontrol *closed loop*, perlu adanya penyesuaian terhadap sirkuit yang digunakan. Umumnya, perbedaan komponen yang paling utama adalah terdapat pada *final control element* yang berupa *valve* dimana fungsi serta aktuasinya akan berbeda dari *valve* yang digunakan pada sistem hidrolik manual ataupun listrik.

Untuk menerapkan sistem kontrol *closed loop* pada hidrolik maka dibutuhkan katup yang dapat bekerja secara kontinu. Terdapat dua jenis katup yang dapat digunakan pada elektrohidrolik *closed loop*, yaitu katup proporsional dan katup servo. Penggunaan katup proporsional dapat digunakan untuk sistem kontrol *open loop* maupun *closed loop*. Untuk penggunaan dengan tingkat akurasi yang tinggi pada sistem *closed loop*, katup servo lebih dipilih dibandingkan katup proporsional. Pengontrolam katup servo dan proporsional dilakukan secara listrik dan sinyal kontrol dapat diubah saat sistem bekerja.

Pada sirkuit hidrolik *open loop* dan *closed loop*, perbedaan yang signifikan adalah pada penambahan sensor analog yang berfungsi untuk menghitung keluaran dari *output* dan mengubah menjadi sinyal listrik. Dalam hal ini, sensor dapat berupa sensor tekanan ataupun sensor posisi tergantung variabel yang dikontrol. Kedua sistem kontrol tersebut akan terlihat sangat berbeda pada sirkuit listriknya karena rangkaian *open loop* umumnya lebih sederhana daripada *closed loop*.

Gambar di bawah ini merupakan elektrohidrolik proporsional *closed loop* yang dikontrol berdasarkan sinyal input. Sistem *closed loop* memiliki sensor yang menghitung keluaran dari *output* kemudian membandingkan dengan *input* awal sehingga jika terjadi *error* maka kontroler akan berfungsi.



Gambar 2. 17 Sistem Elektrohidrolik *Closed loop*

2.4 Sistem Kontrol *Closed loop*

Sistem kontrol *closed loop* merupakan sistem umpan balik yang memiliki parameter berubah-ubah sehingga termasuk ke dalam sistem kontrol kontinu. Sistem kontrol *closed loop* adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Pada sistem *closed loop*, sinyal *error* yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik, diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah "*closed loop*" berarti menggunakan aksi umpan – balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Hal inilah yang membedakan dengan sistem kontrol *open loop* yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan, dimana keluaran tidak diukur atau diumpan–balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Sistem kontrol *closed loop* mempunyai kelebihan dari sistem kontrol *open loop* yaitu penggunaan umpan–balik yang membuat respon sistem untuk mengambil tindakan terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem sehingga memudahkan untuk dilakukan pengontrolan dengan teliti. Namun, dalam segi kestabilan, sistem control *open loop* lebih mudah dibuat. Sebaliknya, kestabilan dapat menjadi persoalan pada sistem kontrol *closed loop* karena bisa terjadi kesalahan akibat koreksi berlebih yang dapat menimbulkan osilasi.

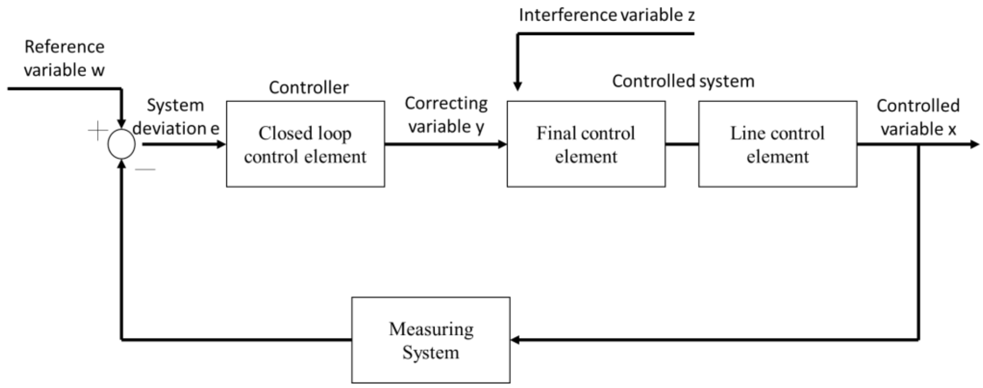
Harus ditekankan bahwa untuk sistem dengan masukan yang telah diketahui sebelumnya dan tidak ada gangguan, maka disarankan untuk menggunakan kontrol *open loop*. Sistem kontrol *closed loop* mempunyai kelebihan hanya jika terdapat gangguan yang tidak dapat diramal pada komponen sistem. Hal yang perlu diperhatikan juga adalah bahwa kemampuan daya keluaran ikut menentukan biaya, berat, dan ukuran sebuah sistem kontrol. Jumlah komponen yang digunakan dalam sistem kontrol *closed loop* akan lebih banyak bila dibandingkan pada sistem kontrol *open loop*. Sistem kontrol *closed loop* juga membutuhkan instrumen untuk mengukur sebagian atau seluruh keluarannya. Oleh karena itu, sistem control *closed loop* pada umumnya lebih besar dan mahal. Untuk memperkecil daya yang diperlukan oleh sistem, maka dapat digunakan kontrol *open loop*.

Tabel 2. 2 Perbedaan Open Loop dan *Closed loop*

Kriteria	**Open Loop**	**Closed Loop**
Bentuk dari flow diagram	Terbuka	Tertutup
Desain flow diagram	Sirkuit kontrol open loop	Sirkuit kontrol closed loop
Perhitungan sinyal output	Tidak perlu	Perhitungan kontinu
Feedback dari sinyal output	Tidak	Ya

2.4.1 Block Diagram Kontrol *Closed loop*

Sistem kendali dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Kerja sistem kendali *closed loop* memanfaatkan variabel yang dikontrol dari selisih respon yang terjadi (keluaran) terhadap respon yang diinginkan (masukan). Hal ini dapat diilustrasikan apabila keluaran aktual telah sama dengan referensi atau masukan maka input kontroler akan bernilai nol. Nilai ini artinya kontroler tidak lagi memberikan sinyal aktuasi, karena target akhir perintah gerak telah diperoleh.



Gambar 2. 18 Terminology *Closed loop*

Gambar di atas menunjukkan susunan dari sistem kontrol *closed loop* dengan desain standar. Kondisi tersebut didefinisikan pada DIN 19226 "*Closed loop and Open-Loop Control Terminology*"

1. Controlled Variable x
   Controlled variable x (Variabel x yang dikontrol) merupakan output (keluaran) atau tanggapan sebenarnya dari sistem kontrol *closed loop*. Variabel yang dikontrol biasanya dikenal dengan hasil aktual. Pada sistem kendali elektrohidrolik *closed loop*, terdapat dua macam variabel yang dikontrol yaitu posisi (*velocity*) dan tekanan.

2. Reference Variable w
   Reference variable w menunjukkan nilai respon keluaran yang diharapkan. *Reference variable* lebih dikenal dengan nilai input. Dengan sistem kendali *closed loop* yang ideal maka akan didapatkan nilai yang sama antara *reference variable* (masukan) dan *controlled variabel* (keluaran).

3. Feedback variable r
   DIN 19226 membuat perbedaan istilah pada *controlled variable* dan *feedback variable*. *Variable feedback* didefinisikan sebagai nilai yang dihitung dari *controlled variable* (keluaran). Nilai keluaran akan dihitung menggunakan sensor dan dikonversi dari besaran fisik agar dapat dibandingkan dengan nilai masukan. Bentuk dari *feedback variable* adalah sinyal elektronik. Penggunaan istilah *feedback variable* masih belum diterima secara luas. Biasanya banyak sumber yang menggunakan kata *controlled variable* padahal sebenarnya arti yang dirujuk merupakan difinisi dari *feedback variable*.

4. *System* Deviation e
   System deviation e merupakan perbedaan antara *reference variable* (masukan) dan *feedback variable r*. Berikut adalah persamaannya :
   $e = w - r$
   Jika, dalam arti sederhana, yang digunakan adalah *controlled variable* (keluaran aktual) dibanding *feedback variable*, maka perhitungganya menjadi berikut ini :
   $e = w - x$

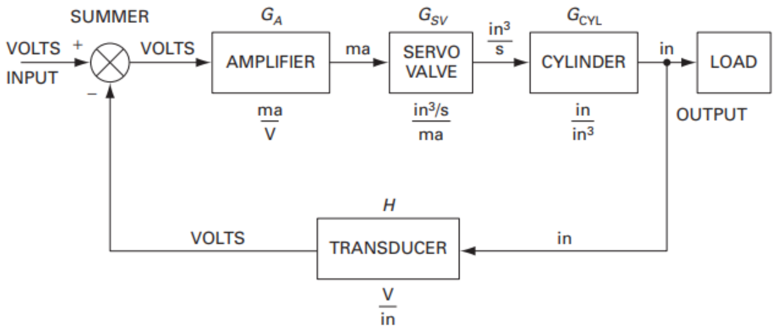
5. Correcting Variable y
   Kontroler berfungsi untuk membandingkan variabel yang dikontrol (*controlled variable*) dengan variable referensi (*reference variable*) sehingga menghasilkan keluaran variabel baru yang dinamakan variabel koreksi (*correcting variable*). Variabel koreksi akan menerapkan tindakan pengontrolan dari kontroler ke *final control element* berupa sinyal input.

6. Final Control Element
   Final control element adalah bagian dari sistem yang dikendalikan (*controlled system*). *Final control system* akan berkerja sesuai dengan sinyal hasil keluaran *correcting variable*. Dalam hal ini, *valve* sering digunakan sebagai *final control element*. *Valve* akan menerima sinyal elektronik dari kontroler dan bertindak sebagai pengontrol besaran fisik yang selanjutnya disalurkan ke aktuator.
7. Controlled-*system* Component
   Controlled-system component merupakan bagian dari sirkuit kontrol *closed loop* dimana *controlled variable* dihasilkan. Ini merupakan kelanjutan dari *final control element* dimana bertindak sebagai pengekskusi fisik sehingga keluaran yang dihasilkan akan sama seperti *correcting variable*. Salah satu contoh dari *controlled-system component* adalah pipa dan silinder hidrolik.
8. Controlled *System*
   Sistem yang dikontrol terdiri atas *final control element* dan *controlled-system component*. Hal ini mencakup *valve*, pipa, silinder, *reservoir*, dll.
9. Interference Variable z
   Varibal interferensi terbentuk di luar sistem kontrol *closed loop* dan memproduksi sebuah perubahan tidak diingankan yang berdampak pada *controlled variable*. Beberapa contoh dari *interference variabel* adalah kebocoran, gesekan dan gaya yang bekerja pada piston.
10. Mesuring *system*
    Sistem pengukuran digunakan untuk mengukur variabel yang dikendalikan. Sistem pengukuran sering juga disebut sebagai sensor atau *encoder*.

2.4.2 Gain

Fungsi Gain, G, atau fungsi transfer suatu komponen didefinisikan sebagai output dibagi input. Pada termodinamika, gain dapat disebut sebagai efisiensi, sedangkan pada sistem kontrol, prinsip gain sama dengan persamaan laplace. Nilai gain mengindikasikan kinerja suatu komponen dalam suatu sistem.

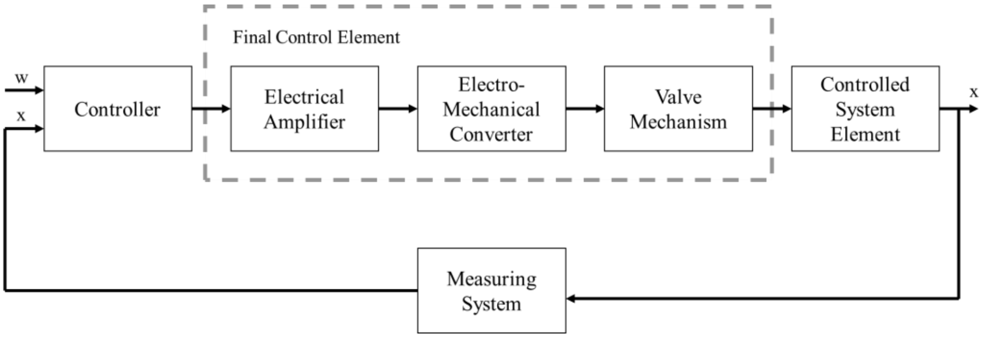
$$G = \frac{output}{input}$$



Gambar 2. 19 Block Diagram Sistem *Closed loop* Posisi

2.5 Katup Servo

Katup Servo merupakan salah satu jenis *dynamic valve* yang memiliki sifat kontinu dimana sinyal variabel koreksi menentukan posisi *spool*. Pada elektrohidrolik *closed loop*, katup servo bertindak sebagai *final control element*. Berikut adalah tiga gabungan fungsi yang terdapat pada katup servo yang diaktuasi secara listrik:



Gambar 2. 20 Dynamic Directional Control Valve

1. *Electrical Amplifier*, untuk memberikan power listrik terhadap katup agar dapat beroperasi.
2. *Electromechanical Converter*, untuk mengatur posisi *spool* katup yang berasal dari sinyal variabel koreksi yang masuk.
3. Komponen mekanik *valve*, untuk menunjang pengoperasian katup sehingga dapat memenuhi fungsi yang diinginkan, seperti untuk memengaruhi laju aliran.

Katup yang dapat disesuaikan secara dinamis dengan aktuasi listrik terbagi menjadi dua jenis, yaitu katup proporsional dan katup servo. Kedua katup ini dapat digunakan pada elektrohidrolik *closed loop*.

Katup proporsional diaktuasi menggunakan solenoida dengan sinyal kontrol listrik, yang dapat berupa tegangan atau arus. Solenoida pada katup proporsional dapat menghasilkan gaya untuk menggerakkan *spool* melawan pegas. Sebagian besar katup ini digunakan dalam sistem *open loop* untuk memperlancar akselerasi ataupun deselerasi untuk memindahkan silinder ke posisi apapun.

Katup servo merupakan katup yang berisi motor torsi listrik untuk memposisikan *spool* geser di dalam katup sehingga dapat menghasilkan laju aliran yang diinginkan. Pada penggunaannya, katup servo memiliki akurasi yang lebih tinggi daripada katup proporsional

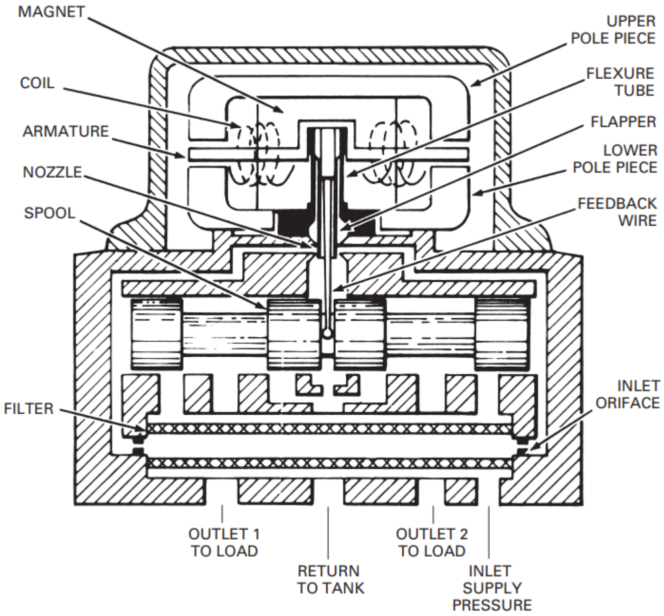
dan menghasilkan gaya yang lebih besar, namun di sisi lain katup servo mempunyai harga yang mahal.

Tabel 2. 3 Perbedaan Katup Proporsional dan Servo

Karakteristik	**Katup Proporsional**	**Katup Servo**
Dinamik	Rendah	Tinggi
Kekokohan	Tinggi	Rendah
Akurasi	Rendah	Tinggi
Aktuasi Spool	Dikontrol secara langsung	Aktuasi pilot
Power yang dihasilkan	Rendah	Tinggi
Harga	Rendah	Tinggi

Motor torsi pada katup servo terdiri atas kumparan, *pole pieces*, magnet, dan armatur. Armatur merupakan salah satu komponen yang berguna sebagai pengubah energi. Keluaran dari armature digunakan untuk menggerakan *flexube tube* yang memiliki fungsi untuk menyediakan pembatas antara bagian hidrolik dan elektromagnetik dari katup. Di dalam *flexube tube*, terdapat flapper yang menempel pada tengah armatur dan memanjang ke bawah. Di setiap sisi flapper, terdapat nozzle yang besar kecil bukaannya dapat diatur dan divariasikan oleh gerakan flapper. Fluida hidrolik yang masuk akan disaring dan kemudian diarahkan ke setiap nozzel melalui salah satu dari dua lubang saluran masuk yang terletak di ujung filter. Gerakan flapper di antara nozzle ini akan membuat tekanan diferensial di antara ujung-ujung *spool* bervariasi.

Spool katup empat arah mengarahkan aliran dari lubang tekanan suplai ke salah satu dari dua port *outlet* dalam jumlah yang sebanding dengan perpindahan *spool*. Gerakan *spool* akan membelokkan kawat umpan balik yang mengaplikasikan torsi ke armatur / flapper. Arus listrik dalam koil menyebabkan torsi bergerak searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam pada armatur. Torsi ini menggantikan flapper di antara dua nozzel. Aliran nozzel diferensial memindahkan *spool* ke kanan atau kiri. *Spool* terus bergerak sampai torsi umpan balik memiliki nilai yang sama dengan torsi elektromagnetik.



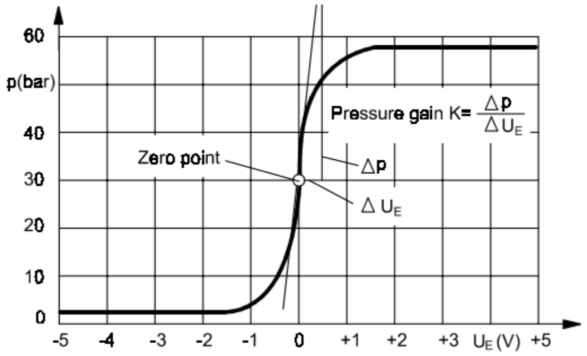
Gambar 2. 21 Katup Servo

2.5.1 Paramater Karakteristik Katup

Salah satu cara untuk menentukan karakteristik katup adalah dengan menggunakan fungsi tekanan-sinyal dimana sensor tekanan dihubungkan pada setiap lubang kerja *valve*. Tekanan yang dihasilkan akan dibentuk kurva terhadap sinyal masuk sehingga mendapatkan data berikut ini :

2.5.1.1 Hydraulic *Zero* Point

Keadaan ini ditentukan saat *spool* menutup secara seimbang terhadap kedua lubang kerja pada *valve* sehingga tidak ada laju aliran. Hasil ini didapatkan ketika tekanan di kedua lubang kerja *valve* bernilai sama pada tegangan yang sama pula.



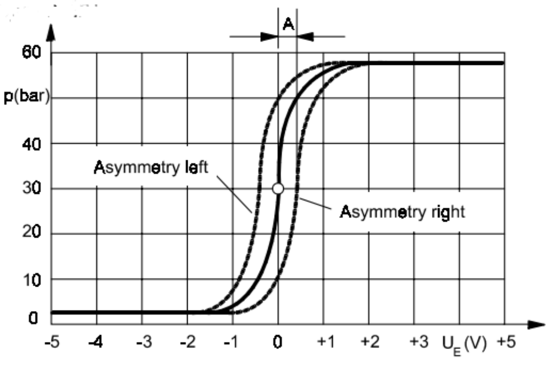
Gambar 2. 22 Hydraulic *Zero* Point

2.5.1.2 Electrical *Zero* Point

Merupakan keadaan ketika tegangan yang masuk adalah 0 Volt. Pada hal ini, *spool* tidak diharuskan untuk menutup kedua lubang kerja valve secara seimbang dimana perbedaan tekanan dapat terjadi pada output.

2.5.1.3 Asymmetry

Assymetry adalah perbedaan yang ditimbulkan dari nilai *hydraulic zero point* dan *electrical zero point*, dimana hal ini menandakan terdapat offset pada valve yang dapat dikompensasi pada tegangan yang masuk.



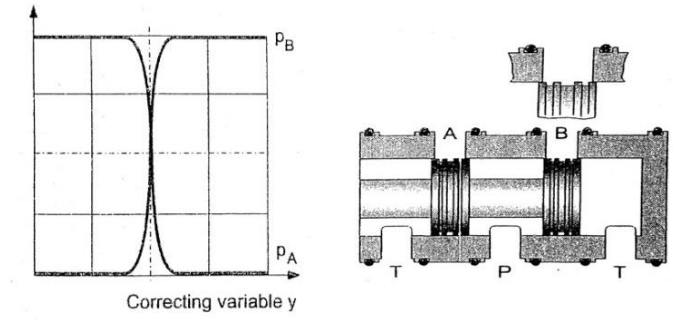
Gambar 2. 23 Asymmetry

2.5.1.4 Overlap

Overlap menunjukkan posisi *spool* terhadap kartrid di dalam *valve* yang memengaruhi laju aliran, dimana :

a. *Zero* Overlap

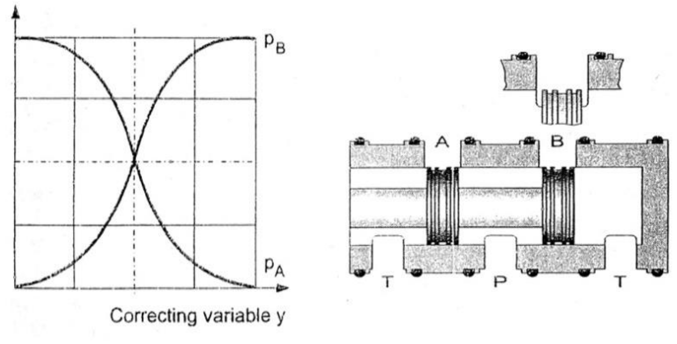
Zero overlap merupakan keadaan saat posisi tepi *spool* bertepatan persis dengan tepi kartrid. Bahkan jika *spool* katup hanya sedikit digerakkan, maka akan terjadi laju aliran pada lubang kerja *valve*. *Zero overlap* berkemungkinan adanya kebocoran kecil ketika *spool* berada di posisi tengah, hal ini dikarenakan tepi *spool* dan kartrid memiliki ukuran yang sama sehingga akan susah bagi *spool* mencapai posisi sempurna guna menutup lubang kerja *valve*. Keuntungan dari *zero overlap* adalah dapat meningkatkan akurasi saat digunakan pada sistem *closed loop*. Gradien tekanan terhadap sinyal pada *zero overlap* akan mulai menunjukkan kemiringan di kisaran posisi tengah.



Gambar 2. 24 *Zero* Overlap

b. Negative Overlap

Negative overlap memiliki arti bahwa terdapat celah kecil antara *spool* dan kartrid. Hal ini menyebabkan adanya laju aliran walaupun *spool* telah berada pada posisi tengah. Dalam kondisi *negative overlap*, umumnya katup digunakan untuk gerakan dinamik yang cepat dengan waktu respon rendah karena dengan adanya celah pada *spool* dan kartrid membuat laju aliran dapat bergerak dengan cepat. Gradien *negative overlap* secara signifikan terbentuk setelah titik pertemuan (tengah).

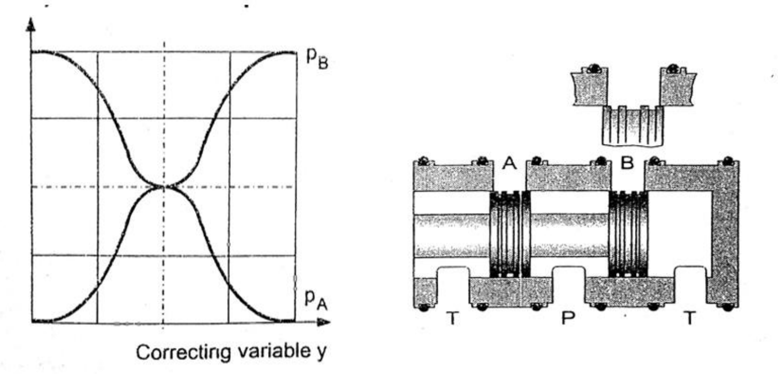


Gambar 2. 25 Negative Overlap

c. Positive Overlap

Positive overlap adalah keadaan ketika *spool* memiliki ukuran yang lebih lebar dibanding lubang katup. Hal ini menyebabkan sedikit

pergeseran tidak memengaruhi lubang kerja *valve* untuk terbuka. Oleh karena itu, *valve* membutuhkan input/masukan yang cukup besar agar membuat *spool* dapat bergeser dan aliran dapat mengalir. Di sisi lain, *positive overlap* memberikan kemungkinan kecil untuk terjadinya kebocoran dan harganya yang relative murah. Karakteristik ini dapat dilihat saat kedua kurva menunjukkan perataan di sekitar titik pertemuan (tengah).



Gambar 2. 26 Positive Overlap

2.6 Sistem Pengukuran

Salah satu ciri utama pada sistem kontrol *closed loop* adalah adanya feedback yang digunakan untuk membandingkan nilai output dan input. Dalam hal ini, feedback didapatkan dari sistem pengukuran yang biasanya sering disebut sebagai sensor. Pada sistem pengukuran, terdapat dua komponen pembangun berupa :

1. Linear encorder atau sensor.
2. Unit penghitung/pengukur nilai.

Sistem pengukuran dibentuk berdasarkan kedua komponen tersebut dimana terdapat tiga desain atau struktur yang dapat digunakan yaitu

1. Sensor dan unit pengukur berdiri sebagai unit individua.l
2. Penggabungan antara unit pengukur dengan kontroler .
3. Dan yang paling umum adalah menggabungkan sensor serta unit pengukur menjadi satu unit.

Fungsi utama sistem pengukuran pada sistem adalah mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Jenis sinyal input sensor tergantung dari variabel yang dikontrol seperti tekanan atau posisi. Sedangkan berdarkan sinyal output, terdapat beberapa macam keluaran yaitu analog, digital, dan biner.

Sensor tekanan berfungsi untuk mengubah tekanan menjadi sinyal listrik. Sensor ini juga dinamakan tranduser karena mengubah suatu bentuk menjadi bentuk yang lainnya. Keluaran *pressure* sensor menjadi input pada summing point untuk dibandingkan dengan variabel referensi sehingga dapat mendeteksi *error* dan menanganinya dengan seksama.

2.7 Function Generator

Function Generator adalah salah satu peralatan uji elektronik yan penting dan serbaguna. Dalam desain elektronik dan *trouble shooting*, sirkuit yang diperiksa sering kali membutuhkan sinyal yang dapat dikontrol untuk mensimulasikan operasi normalnya. Pengujian sistem fisik dan transduser seringkali membutuhkan sinyal yang stabil dan tepat. Level sinyal yang dibutuhkan berkisar dari mikrovolt hingga puluhan volt atau lebih.

Function Generator mampu menyediakan berbagai macam sinyal output seperti sinus, persegi, dan segitiga dari kurang dari 1 Hz hingga setidaknya 1 MHz, dengan amplitudo variabel dan offset DC yang dapat disesuaikan.

1. Sinyal persegi (square), untuk menghasilkan respon step. Sinyal keluaran mengikuti perubahan gelombang persegi dalam sinyal uji dengan sedikit penundaan. Pada sinyal ini, titik transisi dibulatkan. Sinyal output sesuai dengan serangkaian beberapa fungsi transisi.
2. Sinyal segitiga (triangular), untuk menghasilkan respon ramp. Dengan sinyal gelombang segitiga penundaan sinyal keluaran dapat diamati. Sinyal input menunjukkan puncak. Sedangkan pada sinyal output, titik transisi dibulatkan. sinyal output sesuai dengan serangkaian beberapa fungsi ramp.
3. Sinyal sinus (sine), untuk menghasilkan respon sinusoidal. Dalam kasus sinyal masukan gelombang sinus, sinyal keluaran juga mengikuti dengan sedikit penundaan. Sinyal keluaran kira-kira sinusoidal.

Gambar 2. 27 Jenis-Jenis Sinyal

2.8 Kontroler

Salah satu tugas komponen kontroler adalah mereduksi sinyal kesalahan, yaitu perbedaan antara sinyal setting dan sinyal aktual. Hal ini sesuai dengan tujuan sistem kontrol yaitu mendapatkan sinyal aktual senantiasa (diinginkan) sama dengan sinyal setting. Semakin cepat reaksi sistem mengikuti sinyal aktual dan semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baiklah kinerja sistem kontrol yang diterapkan. Apabila perbedaan antara nilai setting dengan nilai keluaran relatif besar, maka kontroler yang baik seharusnya mampu mengamati perbedaan ini untuk segera menghasilkan sinyal keluaran untuk mempengaruhi plant. Dengan demikian sistem secara cepat mengubah keluaran plant sampai diperoleh selisih antara setting dengan besaran yang diatur sekecil mungkin.

2.8.1 Kontroler Proposional (P)

Kontroler proposional memiliki keluaran yang sebanding/proposional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya.

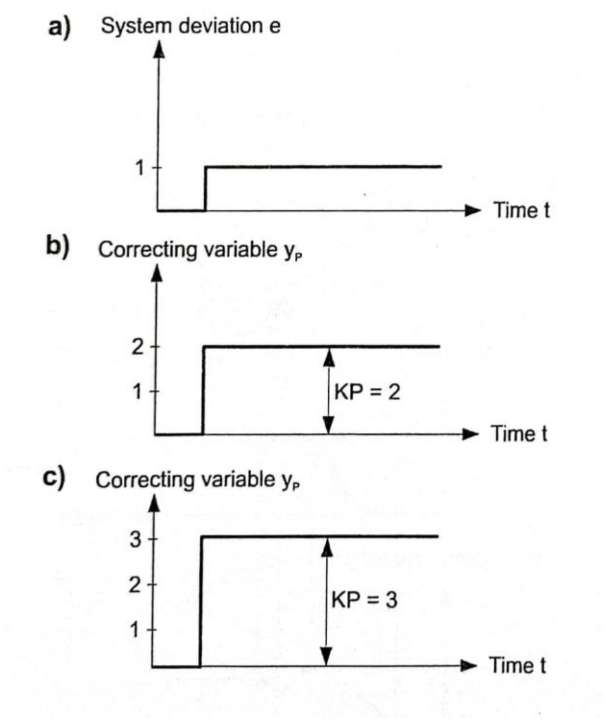
Beberapa ketentuan-ketentuan terkait kontroler proporsional yang harus diperhatikan berikut ini:

a. Kalau nilai K_P kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
b. Kalau nilai K_P dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan tunak.

c. Namun jika nilai K_P diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.

Variabel koreksi y dengan proportional kontroler bisa dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$y = K_P\ (w - x) = K_P . e$$



Gambar 2. 28 Transition Functional Proporsiona

2.8.2 Kontroler Integral (I)

Kontroler integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki sistem deviasi nol. Kalau sebuah sistem tidak memiliki unsur integrator ($\frac{1}{s}$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan sistem deviasi nol. Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integral. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan. Sinyal keluaran akan berharga sama dengan harga sebelumnya ketika sinyal kesalahan berharga nol. Nilai laju perubahan keluaran kontroler berubah menjadi dua kali dari semula. Jika nilai konstanta integrator berubah menjadi lebih besar, sinyal kesalahan yang relatif kecil dapat mengakibatkan laju keluaran menjadi besar. Ketika digunakan, kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

a. Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
b. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.

c. Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_I.
d. Konstanta integral K_I yang berharga besar akan mempercepat hilangnya offset. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_I akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler.

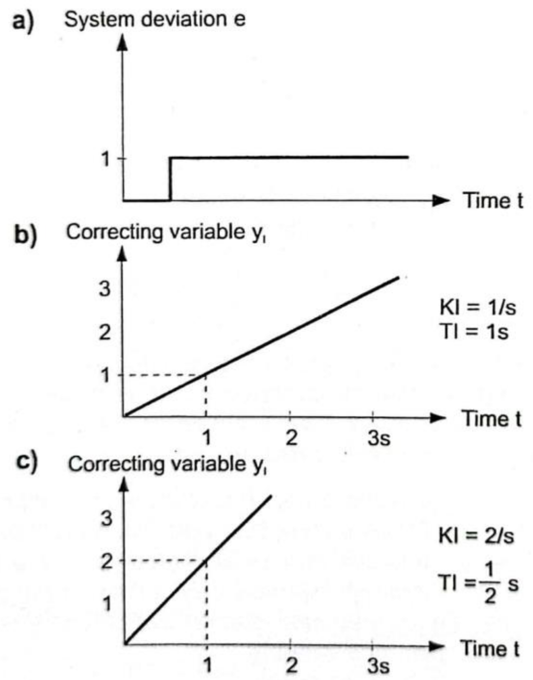
Fungsi transisi dari elemen I menampilkan pola berbentuk ramp (ramp function) karena elemen I melakukan penjumlahan kontinu (integrasi) dari sinyal masukan. Gradien ramp ditentukan oleh koefisien aksi integral K_I. Waktu integrasi T_I berlalu hingga sinyal keluaran y mencapai nilai yang sama dengan sinyal masukan w.

$$T_I = \frac{1}{K_I}$$

Variabel koreksi y dengan *integral controller* bisa dihitung sesuai dengan salah satu dari dua persamaan berikut :

$$y = K_I \int (w - x)\ dt = K_I \int e\ dt$$

$$y = \frac{1}{T_I} \int (w - x)\, dt = \frac{1}{T_I} \int e\ dt$$



Gambar 2. 29 Transition Function Integral

2.8.3 Kontroler Diferensial (D)

Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Ketika masukannya tidak mengalami perubahan, keluaran kontroler juga tidak mengalami perubahan, sedangkan apabila sinyal masukan berubah mendadak dan menaik (berbentuk fungsi step), keluaran menghasilkan sinyal berbentuk impuls. Jika sinyal masukan berubah naik secara perlahan (fungsi ramp), keluarannya justru merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta diferensialnya K_D.

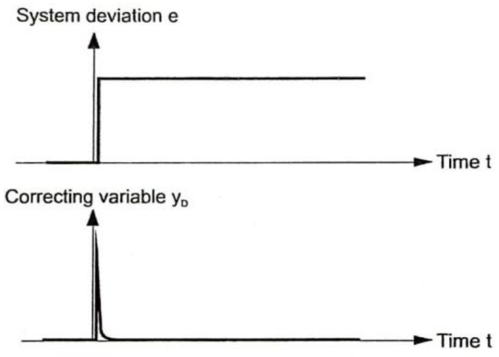
Karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut:

a. Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
b. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai K_D dan laju perubahan sinyal kesalahan.
c. Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

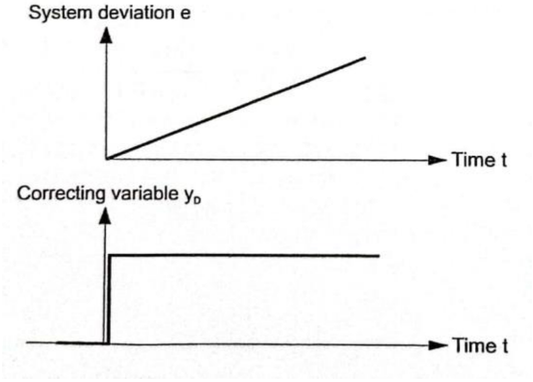
Berdasarkan karakteristik kontroler tersebut, kontroler diferensial umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan. Oleh sebab itu kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain sebuah sistem.

Variabel koreksi y dengan *derivative controller* bisa dihitung sesuai dengan persamaan berikut

$$y = K_D \frac{d}{dt}(w - x) = K_D \frac{d}{dt} e$$



Ramp function



Gambar 2. 30 Transition Function Derivative

2.8.4 Kontroler PI

Mode integral ini sering dikombinasikan dengan mode proporsional yang dapat menyediakan aksi reset otomatis sehingga dapat mengatasi offset dari mode proporsional. Aksi rata-rata integral adalah waktu yang dibutuhkan mode integral untuk memproses perubahan output yang dihasilkan oleh mode proporsional.

Satu masalah dalam mode kontrol integral terjadi kemungkinan naiknya variabel yang dikontrol sehingga Gain dari mode kontrol proporsional dikurangi. Hal ini dapat megurangi kemampuan respon pengontrol terhadap perubahan beban yang cepat. Kombinasi dari kedua mode ini digunakan pada proses dengan perubahan beban yang besar.

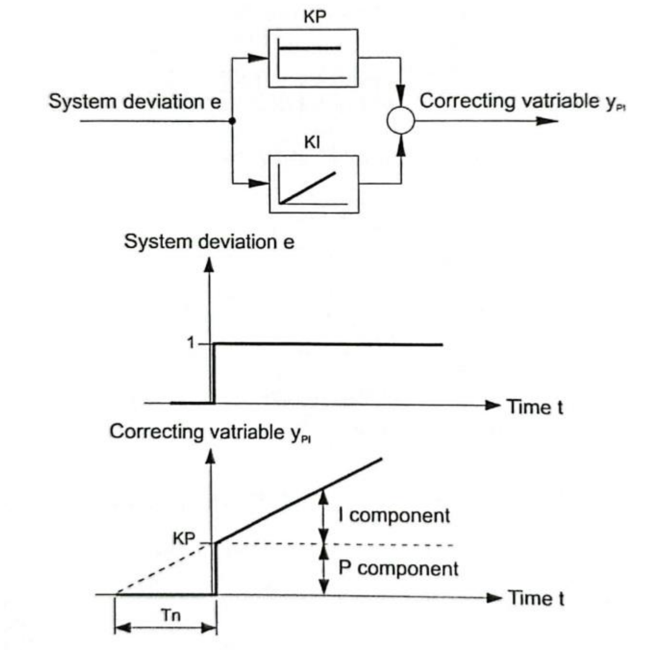
Karakteristik pada kontroler PI dapat diketahui melalui parameter koefisien proporsional K_P (step function), koefisien integral K_I (ramp function), dan integral-action time T_n. T_n adalah waktu yang dibutuhkan oleh elemen I untuk menghasilkan output yang sama dengan sinyal output yang sama dengan elemen P.

$$T_n = \frac{K_P}{K_I}$$

Variabel koreksi y pada kontroler PI dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$y = K_P(w - x) + K_I \cdot \int (w - x)\, dt = K_P \cdot e + K_I \cdot \int e\, dt$$

$$y = K_P(w - x) + \frac{1}{T_I} \cdot \int (w - x)\, dt = K_P \cdot e + \frac{1}{T_I} \cdot \int e\, dt$$



Gambar 2. 31 Transition Function Proporsional-Integral

2.8.5 Kontroler PD

Kombinasi kontrol ini digunakan untuk mengurangi peningkatan gelombang yang disertai tingginya Gain pada mode proporsional. Kombinasi dari kedua mode ini digunakan pada proses dengan perubahan beban yang tiba-tiba, dan menjaga agar input *error* pada batas yang diinginkan.

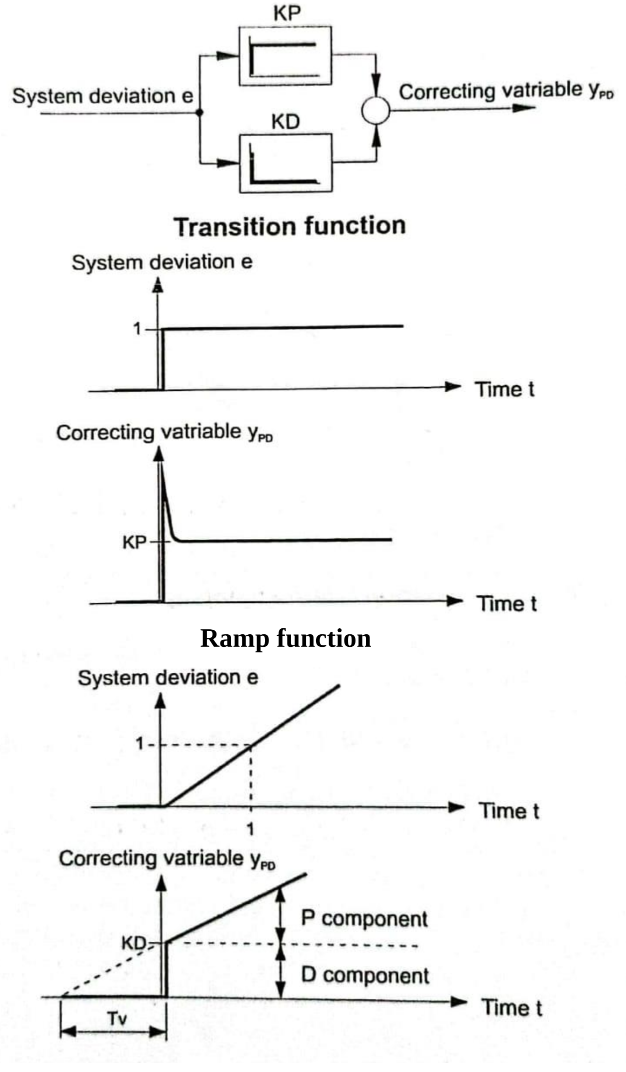
Fungsi transisi pada kontroler PD yaitu lonjakan impuls mewakili elemen D dan step change (square) dari elemen P. Sedangkan respon ramp dari kontroler PD ditampilkan step change (square) dari elemen D dan tanjakan dari elemen P.

Sebagai hasil dari perubahan langkah elemen D, pengontrol PD mencapai variabel koreksi yang ditentukan y lebih cepat dari pengontrol P. Ini berarti bahwa kontroler P memerlukan waktu di atas kontroler PD. Perbedaan waktu antara pengontrol P dan PD dijelaskan sebagai derivative-action time, T_V.

$$T_V = \frac{K_D}{K_P}$$

Variabel koreksi y pada kontroler PD dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$y = K_P \cdot \left(e + T_V \cdot \frac{de}{dt}\right)$$



Gambar 2. 32 Transition Function Proporsional-Derivative

2.8.6 Kontroler PID

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional-integral-diferensial (kontroler PID). Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

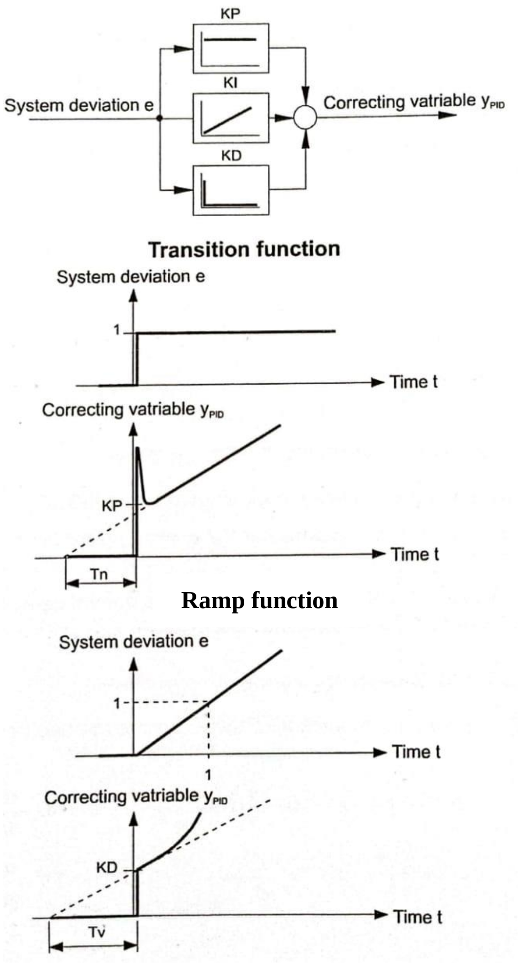
Keluaran kontroler PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral. Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_P, K_I, dan K_D akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol

dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan. Pada aplikasi dilapangan kontroler PID dapat kita identikan dengan : P : gain (pertambahan / pencapaian), I : reset , D : rate (laju / kecepatan).

Variabel koreksi y pada kontroler PID dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut :

$$y = K_P \cdot e + K_I \cdot e \cdot t + K_D \cdot \frac{de}{dt}$$

$$y = K_P \cdot \left(e + \frac{1}{T_n} \cdot e \cdot t + T_V \cdot \frac{de}{dt} \right)$$



Gambar 2. 33 Transition Function Proporsional-Integral-Derivative

2.9 Pengaturan Kontroler Metode Ziegler-Nichols

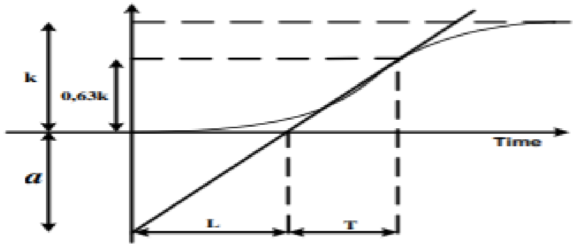
Ada tiga metode yang bisa digunakan untuk mengatur nilai koefisien kontroler yaitu metode matematik, metode standar, dan metode empiris. Metode matematik menggunakan model atau formula matematika untuk mendeskripsikan keadaan tunak dan keadaan dinamik dalam sistem. Perhitungan parameter kontroler sering menggunakan computer dengan

program simulasi. Metode empiris bertindak berdasarkan percobaan pada sirkuit *closed loop* yang serupa sampai menemukan keadaan yang diinginkan. Sedangkan metode standard merupakan metode yang menjadi penengah antara metode matematik dan metode empiris. Metode ini menghitung nilai koefisien kontroler berdasarkan table sehingga metode ini sangat mudah untuk digunakan.

Metode Ziegler-Nichols merupakan salah satu metode standar yang dapat dilakukan secara otomatis tanpa memodelkan sistem. Parameter-parameter PID ditentukan berdasarkan osilasi sistem dan tetapan parameter-parameter yang telah ditetapkan Ziegler-Nichols secara empiris. Metode dasar penalaan ZieglerNichols dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

2.9.1 Metode ke-1 Ziegler-Nichols

Metode ke-1 didasarkan pada respon plant terhadap masukan tangga dalam kalang terbuka. Plant yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S. Kurva tanggapan plant digunakan untuk mencari waktu tunda L dan konstanta waktu T.



Gambar 2. 34 Kurva Tanggapan Berbentuk S

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Zielger-Nichols. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi dituliskan seperti berikut ini :

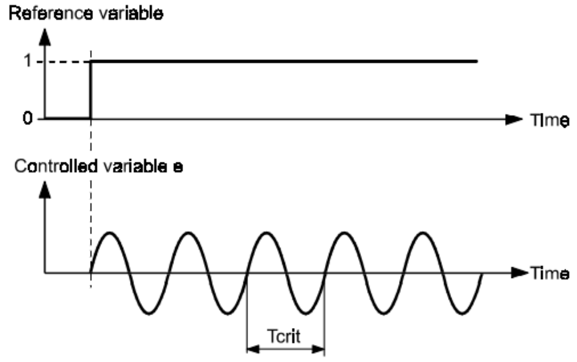
Tabel 2. 4 Penalaran Metode Ziegler-Nichols-1

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$1/a$	-	-
PI	$0{,}9/a$	3L	-
PID	$1{,}2/a$	2L	$L/2$

2.9.1 Metode ke-2 Ziegler-Nichols

Pada metode ke-2, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi step-change. Pada metode ini, terdapat dua metode yang harus dilakukan

1. Menetapkan batas stabilitas sistem *closed loop* (empiris).
   Batas stabilitas didapatkan dari kontroler P dimana saat *steady state* osilasi muncul yang akan menghasilkan koefisien kritikal Kp_{crit} dab periode kritikal T_{crit}.



Gambar 2. 35 Periode Kritikal

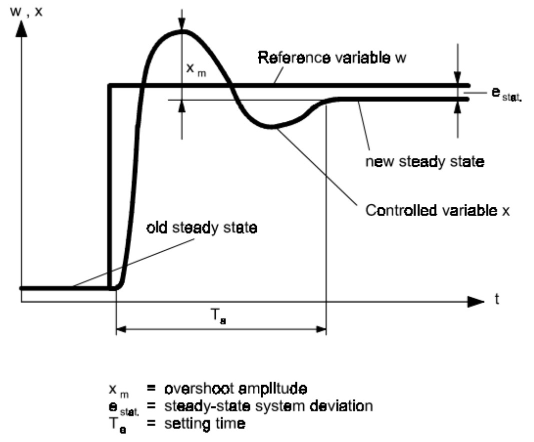
2. Menghitung parameter kontroler.
   Perhitungan ini menggunakan formula standar yang sudah didefinisikan oleh Ziegler-Nichols berikut ini :

Tabel 2. 5 Penalaran Metode Ziegler-Nichols-1

Controller type	*Calculation of characteristic values*				
	K_p	T_n	T_v	K_I	K_D
P	$0.5 \cdot K_{Pcrit}$	-	-	-	-
PD	$0.8 \cdot K_{Pcrit}$	-	$0.12 \cdot T_{crit}$	-	$K_P \cdot T_V$
PI	$0.45 \cdot K_{Pcrit}$	$0.85 \cdot T_{crit}$	-	K_P / T_n	-
PID	$0.6 \cdot K_{Pcrit}$	$0.5 \cdot T_{crit}$	$0.12 \cdot T_{crit}$	K_P / T_n	$K_P \cdot T_V$

2.10 Parameter Kualitas Kontrol dari Mode Kontrol (Kontroler)

Dalam sistem kontrol *closed loop*, kontroler dan sistem yang dikendalikan memiliki interaksi yang konstan. Interaksi kontroler dan sistem kontrol dioptimalkan dengan cara mengatur besar koefisien kontroler. Kontrol kualitas menggambarkan kualitas kontrol *closed loop*. Untuk mengevaluasi kualitas kontrol dapat dilihat dari respons transien yang dinilai setelah terbentuk perubahan langkah (*step-change*). Umumnya, respon transien yang baik diperoleh ketika nilai-nilai semua karakteristik serendah mungkin, berikut rinciannya :

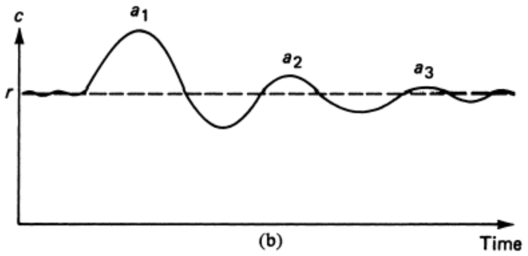


Gambar 2. 36 Kualitas Kontrol Mode Kontrol

2.10.1 Amplitudo *Overshoot*

Amplitudo *overshoot* (x_m) adalah deviasi sementara (simpangan) terbesar dari variabel terkontrol setelah perubahan langkah dalam variabel referensi. Amplitudo *overshoot* diukur relatif terhadap kondisi tunak yang baru.

Quarter Amplitude Decay menjelaskan batas *overshoot* yang masih dianggap baik yaitu dimana tiap gelombang pada nilai puncak positif yang berturut-turut mempunyai perbandingan 1:4 dengan nilai puncak positif sebelumnya. Faktor ini lebih sering digunakan karena mudah diaplikasikan di lapangan dan dari faktor lainnya quarter-quarter amplitude decay lebih mendekati benar. Nilai perbandingan dalam faktor ini adalah peak percen *overshoot* (PPO). PPO adalah sebagai tolak ukur gelombang berlebih dari variabel control, seberapa besar respon saat penggantian



Gambar 2. 37 Quarter Amplitude Decay

2.10.2 Sistem Deviasi *Steady state*

Sistem deviasi *steady state* (e_{stat}) adalah perbedaan antara variabel referensi dan variabel terkontrol yang dipertahankan dalam kondisi tunak. Dalam hal ini dapat diartikan sebagai *error* yang dihasilkan dari mode kontrol yang dilakukan pengukuran saat kondisi tunak.

2.10.3 *Settling time*

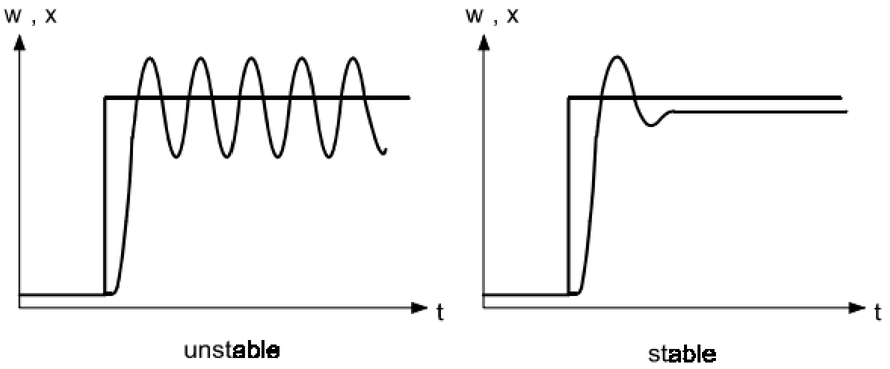
Settling time (T_a) adalah waktu yang dibutuhkan oleh variabel yang dikendalikan x untuk masuk ke kondisi tunak baru setelah meninggalkan kondisi tunak yang lama. Durasi ini biasanya didefinisikan sebagai waktu yang diambil agar variabel terkontrol berubah dari 10% perubahan menjadi 90% perubahan mengikuti perubahan setpoint.

2.10.4 Waktu Respon

Waktu Respon merupakan waktu yang dibutuhkan sistem untuk merespons jika adanya perubahan variabel referensi.

2.10.5 Stability

Stability suatu sistem dapat dilihat dari osilasi yang dihasilkan. Suatu sistem dikatakan stabil, apabila osilasi yang dihasilkan tidak *steady state*. Walaupun pada awal peralihan terjadi *overshoot* namun jika dalam rentan waktu tertentu sistem dapat memiliki deviasi 0, maka sistem tersebut dalam batas stabil. Sistem yang tidak stabil mengindikasikan bahwa kontrol *closed loop* tidak dapat memenuhi fungsinya dengan optimal yang dapat berdampak pada deformasi katup dan silinder yang berujung kerusakan.



Gambar 2. 38 Stability

2.11 Parameter Kesalahan Dalam Sistem Kontrol

Parameter kesalahan dalam pengukuran sebuah sistem kontrol meliputi : (Gunterus, F.1994)

2.11.1 Akurasi

Besaran ini menunjukkan banyaknya penyimpangan yang terjadi pada sebuah alat ukur atau sistem pengukuran. Ada beberapa cara menyatakan akurasi :

a) Variabel pengukuran
b) Presentase span
c) Presentase terhadap skala maksimum (*instrument full scale FS*)
d) Presentase pembacaan

Dalam pengaplikasiannya, suatu alat dituntut untuk mempunyai accuracy yang tinggi.

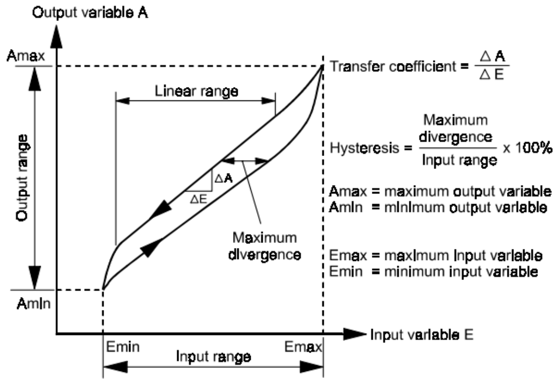
2.11.2 Linearitas

Semua sistem pengukuran ataupun elemen-elemen yang ada di dalam sistem pengendalian, seharusnya mempunyai nilai output yang sebanding dengan nilai input disebut juga dengan linearitas. Suatu elemen dikatakan linear apabila kurva input vs output membentuk garis lurus. Penyimpangan dari garis liniear ideal yang masih dalam batasan yang dianggap linear disebut linearitas atau linearity.

Dalam sensor dan pengkondisian sinyal, keluaran direpresentasikan dalam beberapa hubungan fungsional dengan input. Untuk setiap nilai variabel input, terdapat satu nilai keluaran dari variabel output. Hubungan input dan output ini disebut linearitas. Hubungan linier terjadi ketika adanya persamaan garis lurus (gradien) yang menghubungkan variabel referensi dan variabel yang diukur.

$$c_m = mc + c_0 \qquad (2.1)$$

c_m = output pengukuran
c_o = offset atau intersepsi garis lurus
c = variabel yang akan diukur
m = gradien

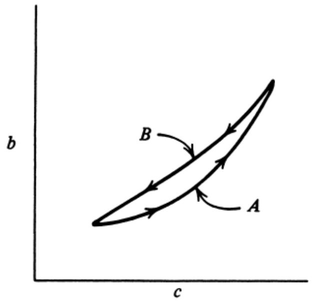


Gambar 2. 39 Liniear dan Hysteresis

2.11.3 Hysteresis

Gejala hysteresis pada sebuah instrumen atau sistem pengukuran yang dapat dilihat saat beroperasi dua arah. Gejala hysteresis terjadi pada banyak elemen sistem pengendalian yang mengandung unsur mekanis khususnya kontrol valve. Saat sinyal naik, posisi bukaan kontrol valve dapat tertinggal beberapa persen dari inputnya. Gejala Hysteresis sebenarnya adalah suatu jenis *error*, yang besarnya tidak konstan dan bergantung pada inputnya. Jika jarak yang ditimbulkan sangat jelas, maka nilai hysteresis dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\mathrm{H} = \frac{\max difference}{input\ range} \times \boldsymbol{100\%}$$



Gambar 2. 40 Hysteresis

2.11.4 Deadband

Deadband adalah gejala yang selalu terjadi pada semua proses switching. Gejala deadband tidak hanya terjadi pada proses switching tapi bisa juga pada *sensing element*. Gejala deadband tidak dapat dihindari tapi dapat dilakukan suatu penyetelan untuk mengurangi deadband.

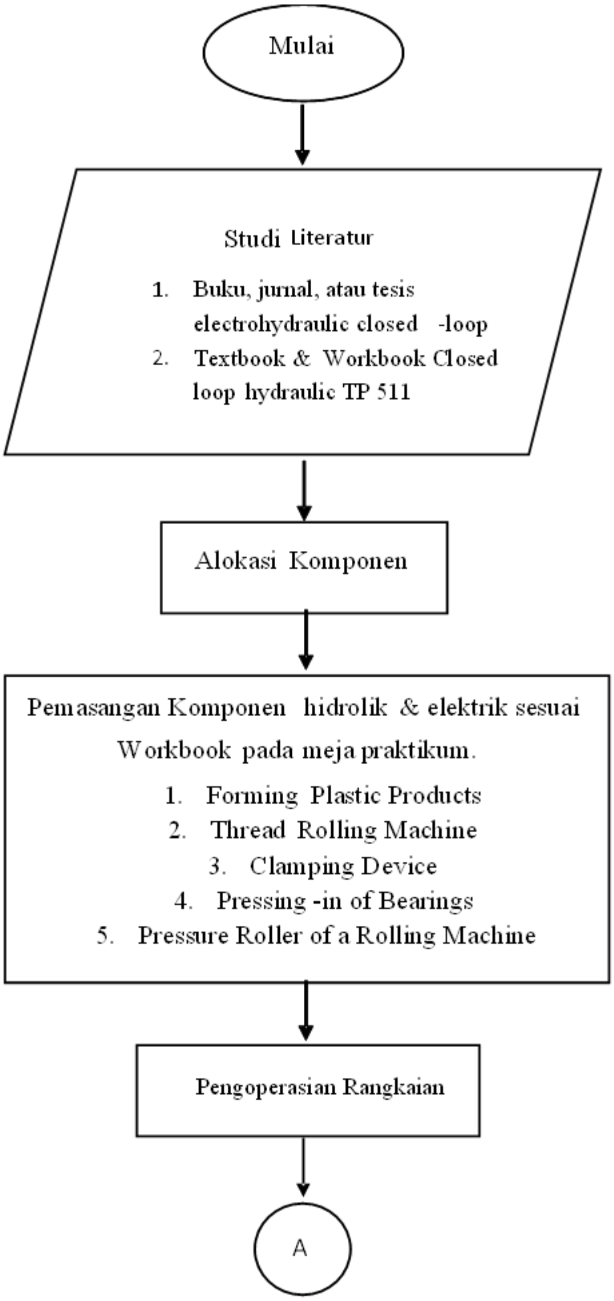
BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengenalan Percobaan

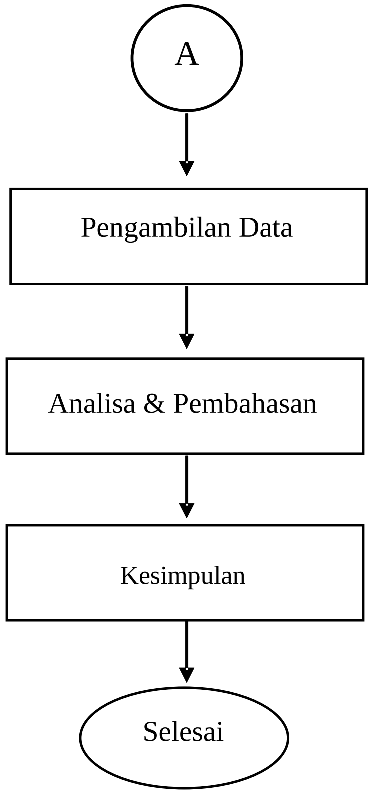
Percobaan yang akan dilakukan merupakan beberapa contoh dari rangkaian alat yang menggunakan sistem elektrohidrolik. Rangkaian alat dengan sistem *pressure* close-loop tersebut dilakukan dengan tujuan agar dapat mengontrol tekanan dalam sistem sehingga output yang dihasilkan dapat sama seperti input yang diharapkan. Dalam menjalankan percobaan dibuat prosedur-prosedur untuk melakukan percobaan agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan, sementara di setiap percobaannya akan ada tujuan pecobaan, definisi masalah, dan deskripsi masalah.

3.2 Diagram Alir Pelaksanaan Proposal Proyek Akhir

Untuk menyelesaikapn proyek akhir ini ditempuh beberapa tahapan, dibawah ini adalah tahapan berupa *flow chart* yang di lakukan untuk menyelesaikan proposal proyek akhir.



Mulai
Studi Literatur
1. Buku, jurnal, atau tesis electrohydraulic closed -loop
2. Textbook & Workbook Closed loop hydraulic TP 511
Alokasi Komponen
Pemasangan Komponen hidrolik & elektrik sesuai Workbook pada meja praktikum.
1. Forming Plastic Products
2. Thread Rolling Machine
3. Clamping Device
4. Pressing -in of Bearings
5. Pressure Roller of a Rolling Machine
Pengoperasian Rangkaian
A



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan Proposal Proyek Akhir

3.3 Penjelasan Diagram Alir

Penjelasan diagram alir proses pengerjaan proyek akhir sebagai berikut.

3.3.1 Mulai

Pengerjaan dimulai dengan penentuan tema proyek akhir dan pemberian literatur penunjang oleh dosen pembimbing.

3.3.2 Studi Literatur

Pada proses ini dilakukan pencarian jurnal-jurnal, *teks book,* dan sebagainya yang berkaitan dengan tema proposal proyek akhir yang dikerjakan untuk menunjang dan memperkuat percobaan yang akan dilakukan pada proyek akhir

3.3.3 Alokasi Komponen

Pada tahap ini, yang harus dilakukan adalah memilih komponen yang digunakan sesuai dengan sirkuit yang telah disediakan pada workbook.

Tabel 3. 1 Alokasi Komponen

Nama Komponen	Percobaan				
	2	**4**	**6**	**8**	**10**
Power Pack (2l)	1		1		1
4/3 Way Regulating Valve	1		1		1
Pressure Gauge	1				
Pressure Filter	1		1		1
Pressure Sensor			1		1
PID Controller	1	1	1	1	1
Digital Multimeter	1	1	1	1	1
Oscilloscope			1	1	1
Function Generator	1	1	1	1	1
Power Supply Unit	1	1	1	1	1
Akumulator	1		1		1

3.3.4 Pemasangan Komponen sesuai Workbook pada meja praktikum.

Pada proses ini, langkah yang harus dilakukan adalah memasang komponen yang telah dipilih pada meja praktikum di laboratorium sesuai dengan rangkaian yang ada pada workbook, dan diusahakan pemasangan pada tempat yang tepat agar tidak terjadi kesalahan. Pada pemasangan ini, terdapat lima percobaan yang akan dijelaskan lebih lanjut.

3.3.5 Pengoprasian Rangkaian

Setelah rangkaian terpasang semua dengan baik dan benar pada modul praktikum, operasikan rangkaian.

3.3.6 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pencatatan terhadap semua data yang dihasilkan dari sistem baik berupa nilai (angka) ataupun sinyal yang dihasilkan dari osiloskop.

3.3.7 Analisa & Pembahasan

Setelah kurva telah dibuat maka tahap selanjutnya adalah menganalisa data-data tersebut dan membahas mengenai kurva untuk menentukan karakteristik dari setiap percobaan.

3.3.8 Kesimpulan

Setelah seluruh rangkaian percobaan dilakukan, ditarik suatu kesimpulan apakah sirkuit dari buku *electrohydraulic close loop TP 511* telah sesuai dengan deskripsi masalah yang diberikan.

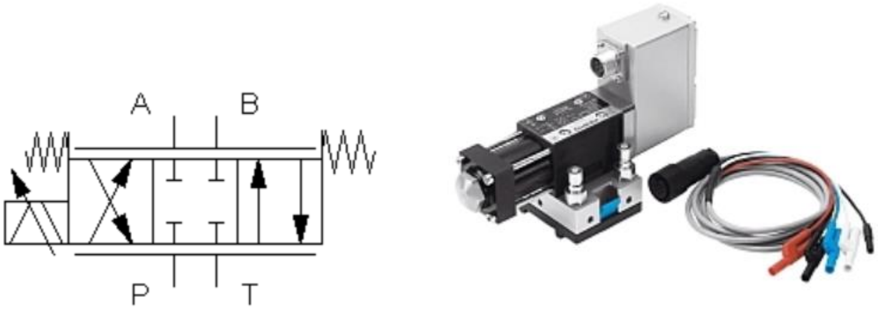
3.3.9 Selesai

Merupakan akhir dari proses percobaan. Dilanjutkan dengan penulisan buku Tugas Akhi.

3.4 Daftar Komponen

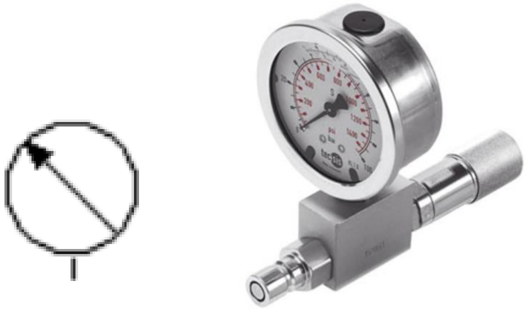
1. 4/3 *Way Regulating Valve*

Pada sistem kontrol, katup berperan sebagai *final control element* yang menerima input sinyal berupa volt dan menghasilkan output berupa tekanan. Katup 4/3 *way regulating valve* memiliki empat lubang hidrolik dan lima kabel koneksi listrik. Empat lubang tersebut adalah lubang P yang menerima aliran dari pompa, lubang T yang mengalirkan fluida kembali ke tanki serta lubang A dan B yang sering kali disambungkan ke aktuator. Sedangkan tiga kabel koneksi listrik yaitu kabel merah (+24) dan biru (0) yang disambung pada *supply voltage*, kabel hitam sebagai nilai set poin (+) dan putih sebagai *ground*, serta kabel *coupling* yang dihubungkan pada *linear drive* (aktuator). Namun, karena dalam praktikum ini tidak menggunakan aktuator, maka kabel listrik yang digunakan hanya empat saja.



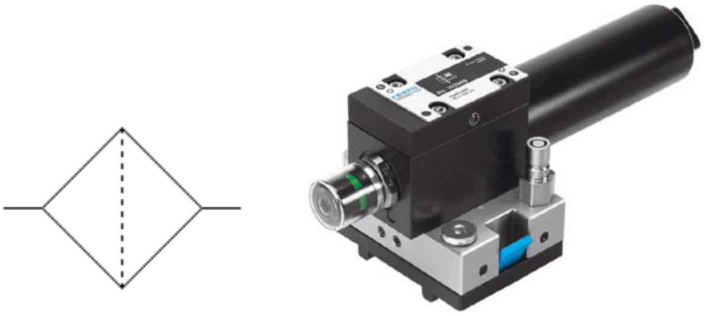
Gambar 3. 2 4/3 Way Regulating Valve

2. *Pressure Gauge*
   Pressure Gauge merupakan alat ukur tekanan secara analog. Alat ini dapat mengukur tekanan dalam sistem dari 0 hingga 100 bar.



Gambar 3. 3 *Pressure* Gauge

3. *Pressure Filter*
   Pressure filter berfungsi untuk menjebak partikel padat (partikel terkelupas, serpihan, debu, dll) dan air yang ada dalam minyak. *Pressure filter* dipasang setelah pompa dan sebelum katup sehingga fluida yang melalui katup merupakan fluida yang sudah disaring. *Pressure filter* mampu menyaring fluida dengan tekanan maksimum 120 bar. Selain untuk melindungi komponen karena telah menyaring partikel yang dapat mengganggu fungsi, *pressure* filter juga mengurangi *pressure drop* pada sistem.



Gambar 3. 4 *Pressure* Filter

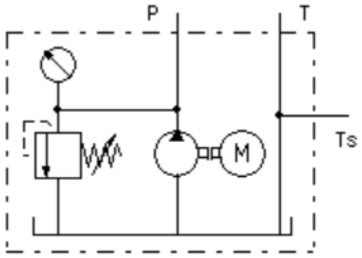
4. *Pressure Sensor*
   Sensor merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam sistem kontrol *closed loop*. Komponen ini merupakan pembeda antara sistem kontrol terbuka dan tertutup sehingga penggunaannya memiliki faktor utama dalam sistem. *Pressure sensor* yang digunakan dapat digunakan untuk mengukur tekanan sebesar 0 hingga 100 bar dan mengubahnya menjadi sinyal listrik dengan rentang 0 hingga 10V. *Pressure sensor* memiliki dua lubang dan tiga kabel elektrik. Masing-masing dari kabel tersebut, merah disambungkan ke *supply voltage* 15V , biru ke *ground*, dan hitam ke *PID Controller Card* sebagai *measuring variable (x)*.

Gambar 3. 5 *Pressure* Sensor

5. Akumulator
   Akumulator merupakan alat yang memungkinkan kinerja sistem hidrolik menjadi lebih optimal. Akumulator dapat dimanfaatkan sebagai reservoir energi dan untuk absorbansi lonjakan tekanan atau fluktuasi aliran. Reservoir mampu menyerap beberapa volume fluida di bawah tekanan dan melepaskannya lagi dengan kerugian minimal. Konstruksi dasarnya terdiri dari wadah tahan tekanan, umumnya muatan gas nitrogen dan pemisah, seperti piston, membran atau elastomer gelembung. Fluida hidrolik hanya mulai mengalir ke akumulator ketika tekanan fluida lebih besar dari tekanan gas-preload.

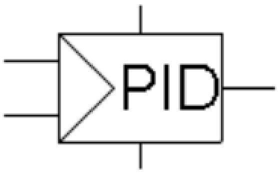
Gambar 3. 6 Akumulator

6. *Power Pack*
   Power pack berfungsi untuk memasok aliran volumetrik konstan. Pada *power pack*, terdapat empat komponen utama yaitu motor, pompa, tanki, dan *pressure relief valve*. Motor berfungsi untuk menggerakkan pompa sehingga dapat memberikan tekanan pada fluida. Tekanan yang dihasilkan pompa diatur dan dibatasi oleh *pressure relief valve*.



Gambar 3. 7 Power Pack

7. PID *Controller Card*
   Kontroler memiliki banyak tugas dalam sistem kontrol. Selain sebagai *summation point* untuk membandingkan antara *reference variable* dan *measuring variable*, kontroler juga berfungsi untuk mengurangi hingga menghilangkan keerroran dalam sistem. PID *Controller Card* dilengkapi dengan *voltage supply* sebesar 24V (katup) dan 15V (*pressure* sensor), selain itu juga terdapat tiga mode (P, I, dan D) yang dapat diatur dengan mudah. PID *Controller Card* memiliki dua pilihan output yang dapat diatur pada limiter yaitu -10V hingga +10V atau 0V hingga +10V.



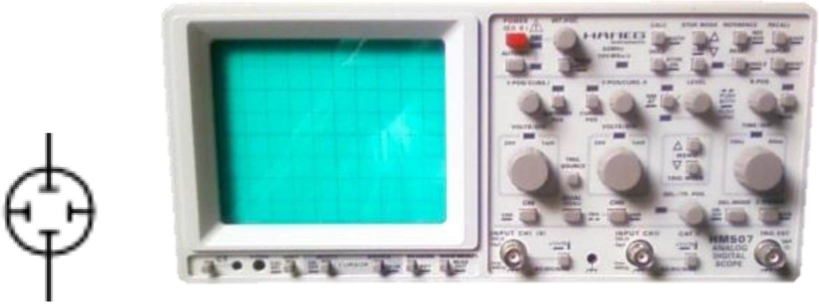
Gambar 3. 8 PID *Controller Card*

8. Digital Multimeter
   Multimeter digital adalah alat uji yang digunakan untuk mengukur nilai kelistrikan, terutama tegangan (volt), arus (amp) dan hambatan (ohm). Ini adalah alat diagnostik standar untuk teknisi di industri listrik / elektronik.

Gambar 3. 9 Digital Multimeter

9. Osiloskop

   Osiloskop merupakan alat ukur elektronik untuk menampilkan gelombang yang mempresentasikan keadaan sistem. Osiloskop berfungsi untuk memproyeksikan frekuensi dan sinyal listrik dalam bentuk grafik. Pada tampilan osiloskop, sumbu Y merupaka representasi dari tegangan dan X untuk waktu. Stabilitas sistem dapat diketahui dengan cara menganalisa tampilan gelombong antara sinyal input (*reference variabel*) dan keluaran (*measuring variable*).



Gambar 3. 10 Osiloskop

10. Function Generator

   Function generator bertindak sebagai sinyal input pada sistem. Alat ini berfungsi untuk membangkitkan gelombang sehingga fungsi transien pada sistem dapat diamati melalui osiloskop. Pada function generator, terdapat tiga gelombang sinyal input yaitu sinyal step, sinyal ramp, dan sinyal sinus. Function generator memberikan input berupa amplitudo (V peak-to-peak) dan frekuensi.

Gambar 3. 11 Function Generator

11. Power Supply

Power supply merupakan komponen yang menyuplai power listrik. Meskipun begitu, *power supply* tetap membutuhkan sumber listrik yang kemudian mengubah arus AC menjadi arus DC sehingga sesuai untuk digunakan pada komponen elektronik. *Supply voltage* yang digunakan memiliki keluaran sebesar 24V yang dalam praktiknya akan disambungkan dengan PID *Controller Card*.

Gambar 3. 12 Power Supply

3.5 Prosedur Percobaan

Sebelum melakukan praktikum alangkah baiknya untuk menaati prosedur keselamatan dan prosedur kontruksi berikut.

3.5.1 Prosedur Keselamatan

Perhatikan hal-hal berikut ketika melakukan praktikum :

a. Perhatikan! Silinder mungkin akan maju ketika hydraulic power pack di switch on.
b. Jangan melebihi tekanan kerja yang diijinkan (100 bar)
c. Gunakan hanya voltase rendah hingga 24 V
d. Lihat peraturan keselamatan umum (DIN58126 dan VDE100)

3.5.2 Prosedur Kontruksi

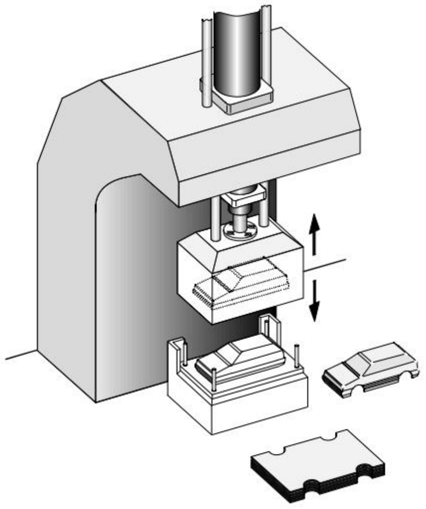
Lakukan langkah-langkah berikut saat akan merakit atau membongkar sebuah sirkuit:

a. Hydraulic power pack dan unit electric power supply harus dalam keadaan switch off selama konstruksi sirkuit.
b. Pastikan semua komponen terpasang dengan baik pada plotnya.
c. Periksa semua lubang balik yang dirangkaiankan dan semua hoses dirangkaiankan secara aman.
d. Pastikan semua rangkaian kabel dengan benar dan aman terhubung.
e. Pertama, nyalakan unit electical power supply kemudian hydraulic power pack
f. Pastikan semua komponen hidraulik bebas dari tekanan sebelum membongkar sirkuit, karena KOPLING HARUS DISAMBUNGKAN TANPA TEKANAN
g. Pertama, matikan hydraulic power pack kemudian unit electrical power supply

3.6 Percobaan

Terdapat sepuluh percobaan yang akan dilakukan, semua terdiri dari rangkaian *advance* yang merupakan percobaan genap pada buku FESTO.

3.6.1 Percobaan 2 Hot-Forming Press

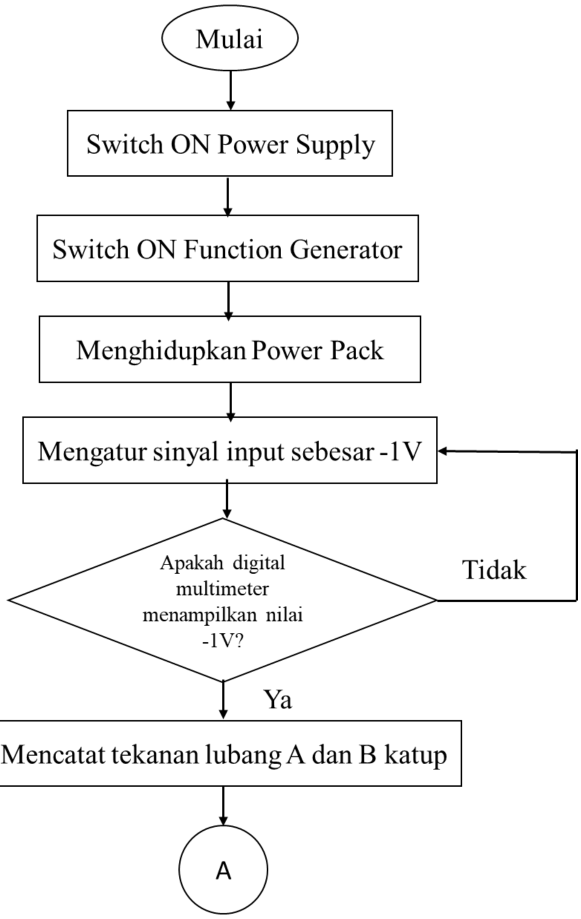


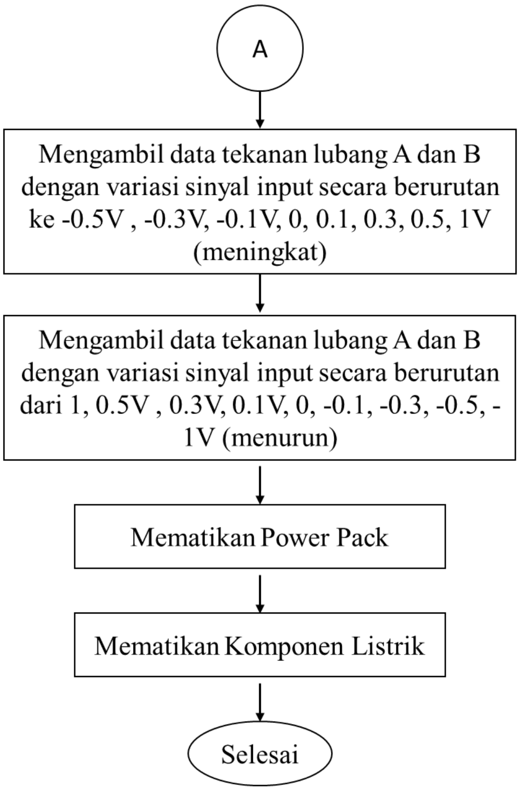
Gambar 3. 13 Hot-Forming Press

3.6.1.1 Tujuan percobaan

- Mengetahui fungsi dari dynamic directional control valve.
- Mengetahui karakteristik katup.
- Mengetahui kinerja katup.

3.6.1.2 Diagram Alir Percobaan



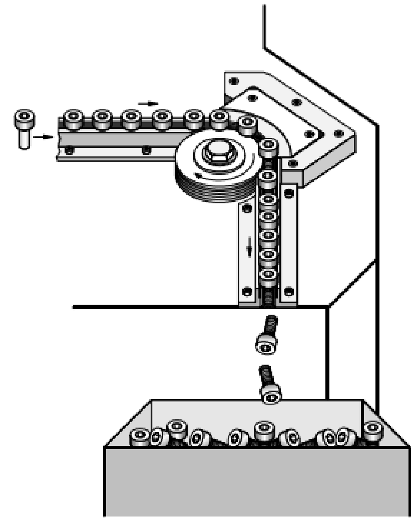


Gambar 3. 14 Diagram Alir Percobaan 2

3.6.1.3 Deskripsi Masalah

Hot-Forming Press merupakan mesin pengepress panas untuk plat-plat plastik. Cara kerja mesin ini yaitu dengan mengatur besarnya tekanan secara otomatis menggunakan hidrolik *closed loop* melalui katup dynamic DCV 4/3 untuk mengontrol tekanan kerja agar konstan. Oleh karena itu, sebelum proses produksi dimulai seharusnya dilakukan penilaian terhadap komponen salah satunya pada katup. Dengan menganalisa karateristik 4/3 *way regulating valve* maka dapat diketahui kinerja status operasinya.

3.6.2 Percobaan 4 Thread Rolling Machine

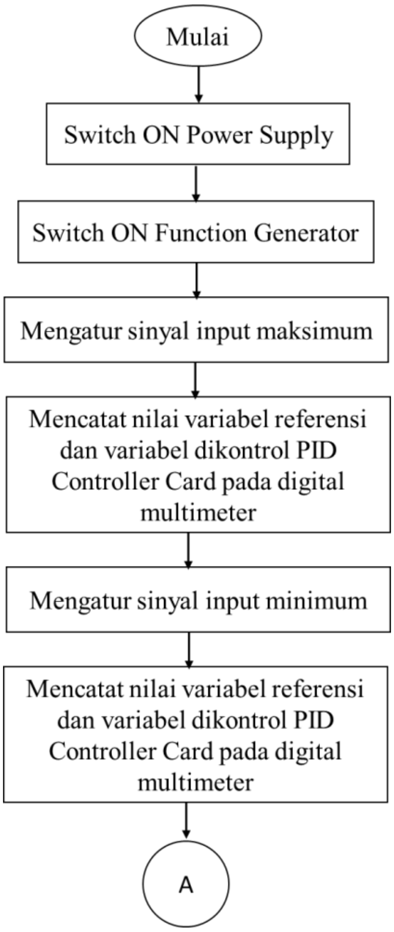


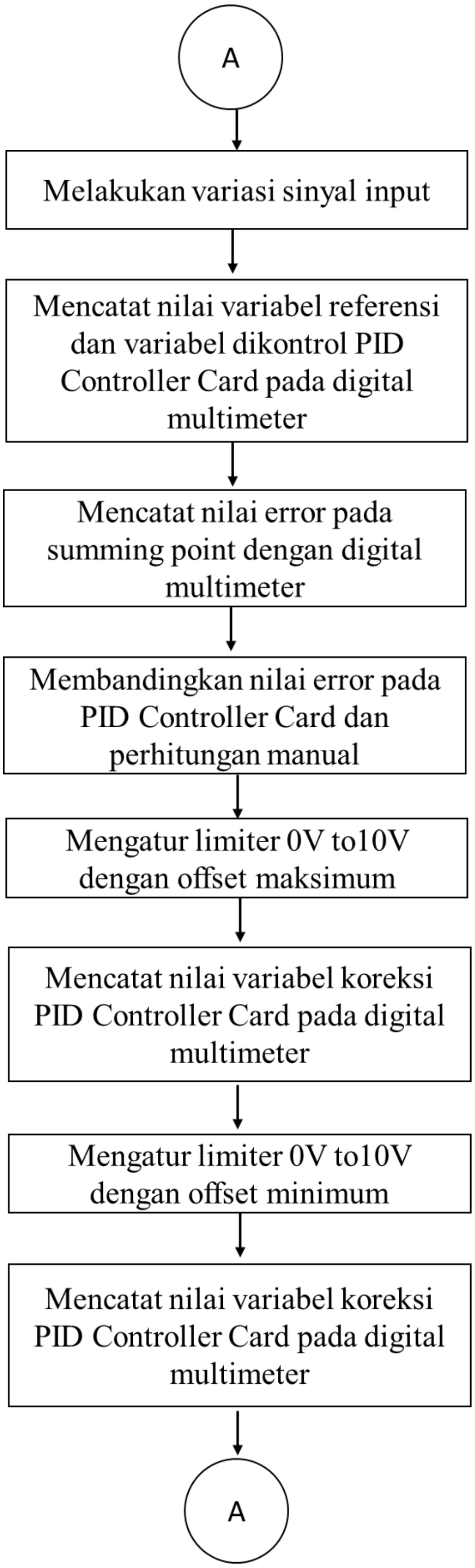
Gambar 3. 15 Thread Rolling Machine

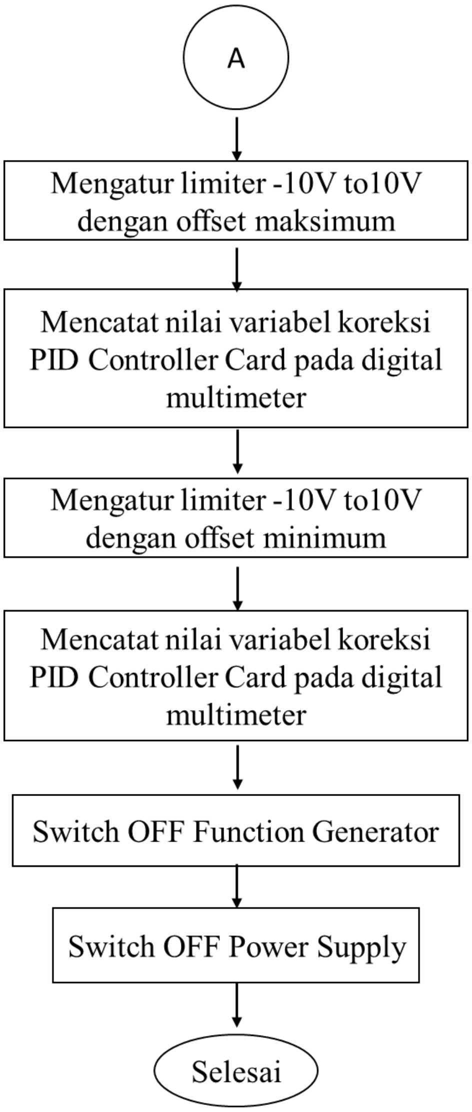
3.6.2.1 Tujuan Percobaan

- Memahami konfigurasi PID *Controller Card*.
- Dapat memeriksa karakteristik dari PID *Controller Card*.

3.6.2.2 Diagram Alir Percobaan




A
Melakukan variasi sinyal input
Mencatat nilai variabel referensi dan variabel dikontrol PID Controller Card pada digital multimeter
Mencatat nilai error pada summing point dengan digital multimeter
Membandingkan nilai error pada PID Controller Card dan perhitungan manual
Mengatur limiter 0V to10V dengan offset maksimum
Mencatat nilai variabel koreksi PID Controller Card pada digital multimeter
Mengatur limiter 0V to10V dengan offset minimum
Mencatat nilai variabel koreksi PID Controller Card pada digital multimeter
A

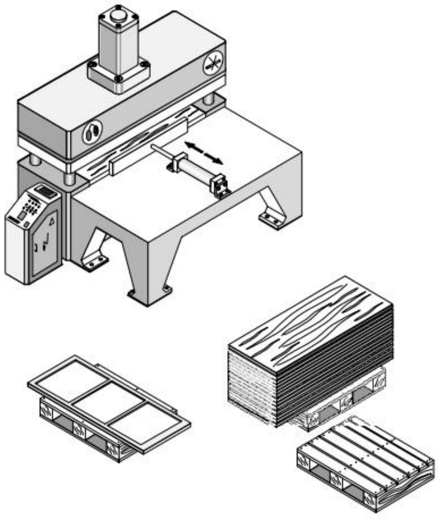


Gambar 3. 16 Diagram Alir Percobaan 4

3.6.2.3 Deskripsi Masalah

Thread Rolling Machine merupakan mesin untuk membuat ulir pada sekrup dengan menggunakan roller. Cara kerja mesin yaitu dengan menekan sekrup dengan rol yang berputar. Pada keadaan ini, tekanan roller diatur menggunakan hidrolik *closed loop* sehingga dapat mempertahankan tekanan pada nilai yang ditentukan. Pada percobaan sebelumnya, komponen yang dilakukan penilaian adalah katup dimana sebagai final control element dalam sistem. Sedangkan pada percobaan ini, penilaian yang dilakukan adalah dengan mengetahui kinerja PID *Controller Card* yang bertindak sebagai pengontrol pada sistem. Ini adalah salah satu komponen penting dan diperlukan pada sistem kerja hidrolik *closed loop*.

3.6.3 Percobaan 6 Clamping Device

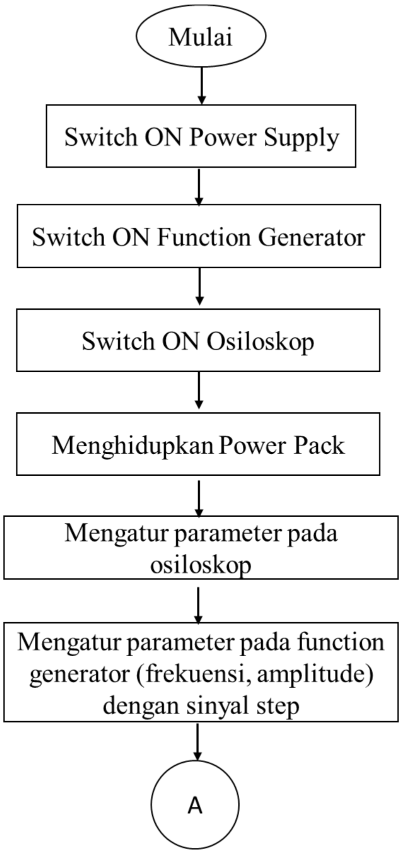


Gambar 3. 17 Clamping Device

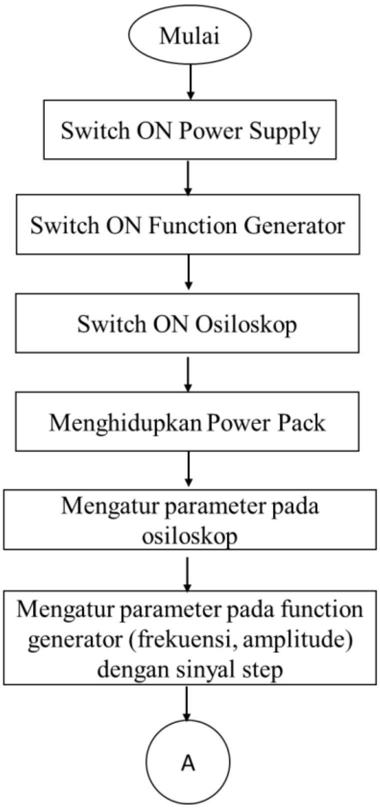
3.6.3.1 Tujuan Percobaan

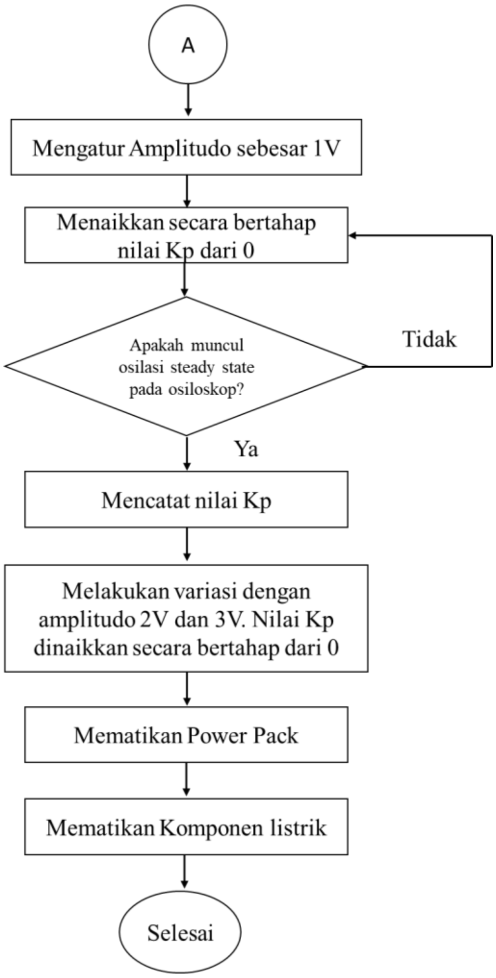
- Mampu menyusun sirkuit *pressure control loop*.
- Dapat mengatur kualitas kontrol pada optimum level.

3.6.3.2 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3. 18 Diagram Alir Percobaan 6 – Pertama



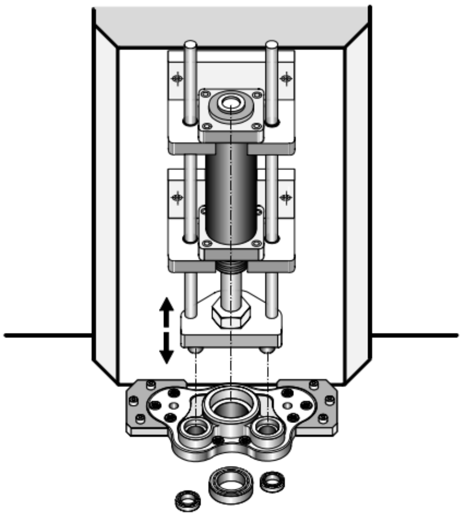


Gambar 3. 19 Diagram Alir Percobaan 6 – Kedua

3.6.3.3 Deskripsi Masalah

Clamping Device merupakan perangkat penjepit yang digunakan untuk menekan papan kayu. Tekanan pada saat menjepit harus diatur dengan benar agar tidak melebihi atau turun pada batas tertentu. Untuk alasan ini, maka tekanan dikontrol menggunakan hidrolik *closed loop* sehingga dapat mengatur tekanan ke tingkat optimal. Pada penggunaannya, sistem kontrol memiliki beberapa parameter yang harus ditetapkan berdasarkan tingkat kualitas yang dikeluarkan. Dalam hal ini, percobaan dilakukan untuk menentukan kualitas kontrol yang optimal pada sebuah sistem.

3.6.4 Percobaan 8 Pressing-in of Bearings

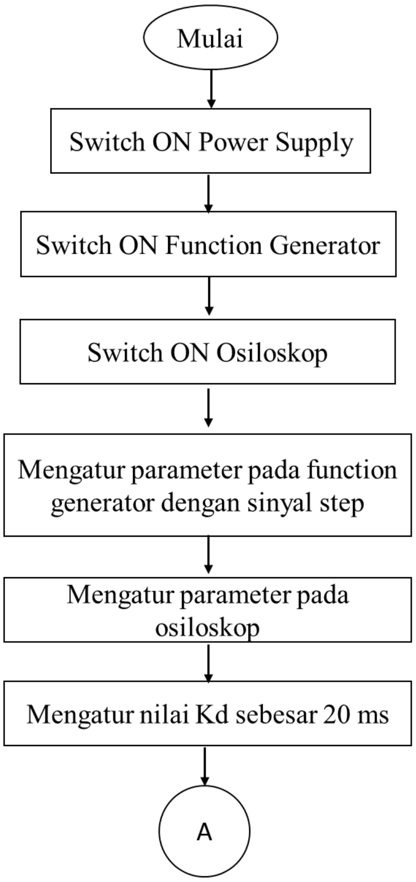


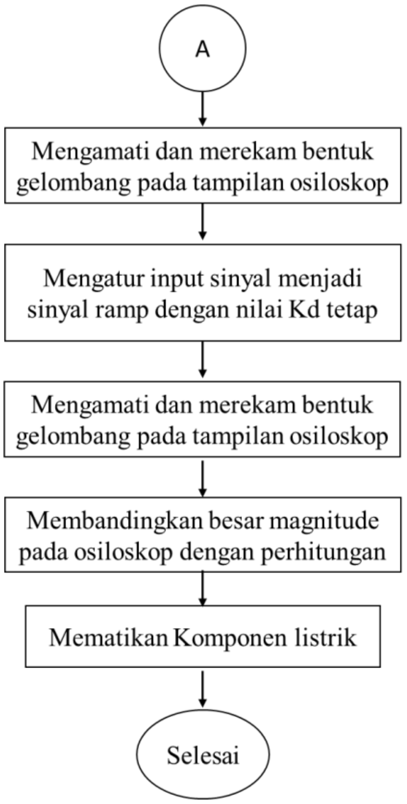
Gambar 3. 20 Pressing-in of Bearings

3.6.4.1 Tujuan Percobaan

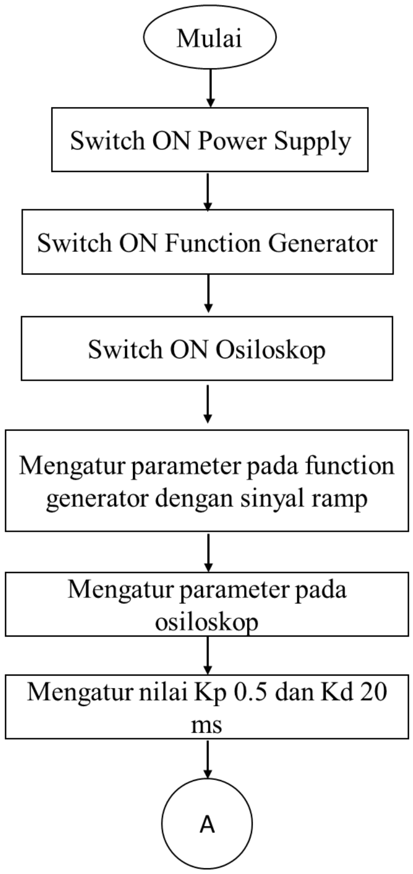
- Mengetahui fungsi dari kontroler D.
- Menentukan karakteristik dari kontroler D dan PD.
- Mendeskripsikan *transition function* dari kontroler PID.

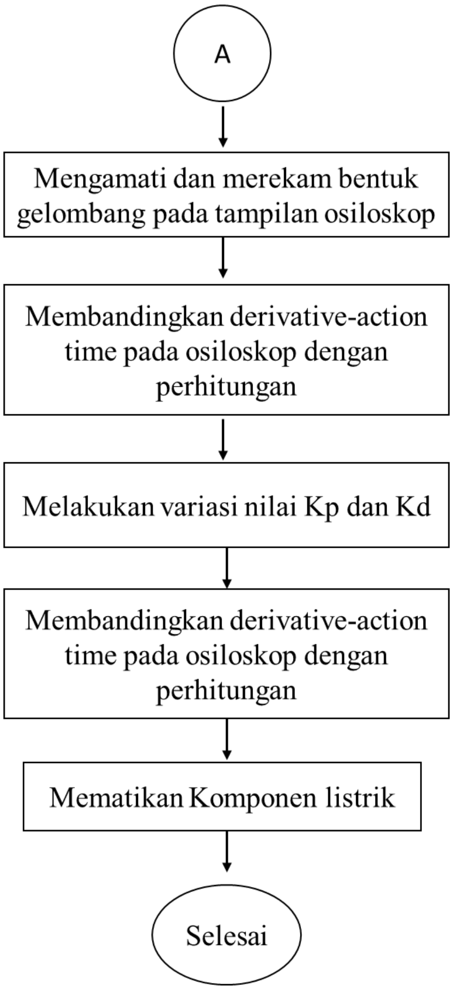
3.6.4.2 Diagram Alir Percobaan



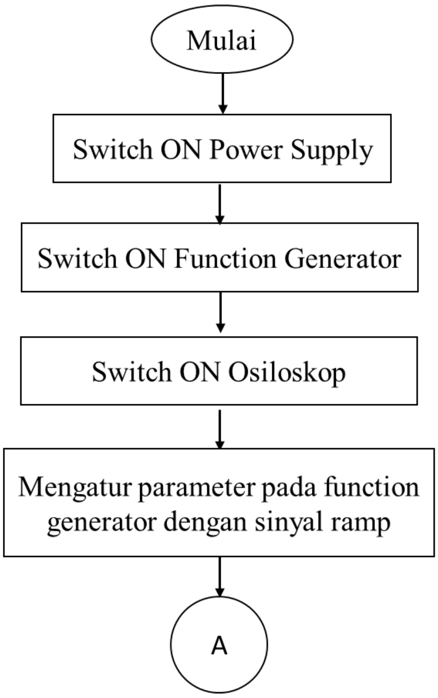


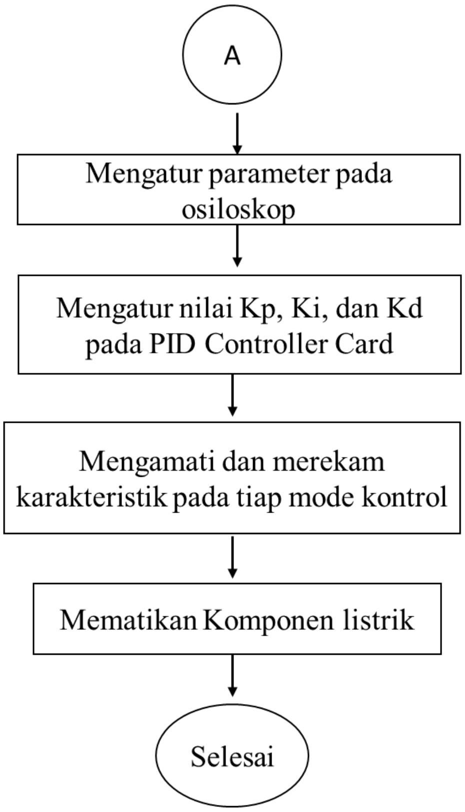
Gambar 3. 21 Diagram Alir Percobaan 8 – Pertama





Gambar 3. 22 Diagram Alir Percobaan 8 – Kedua



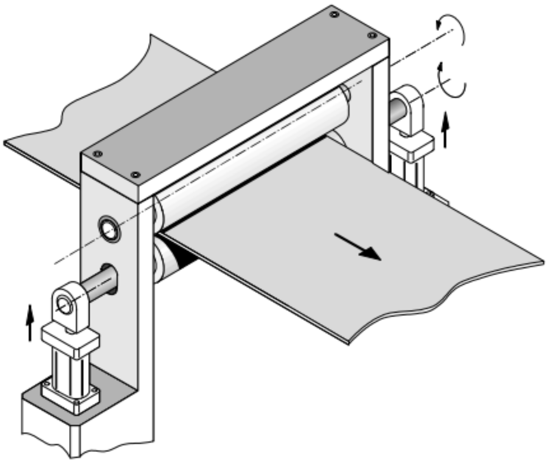


Gambar 3. 23 Diagram Alir Percobaan 8 - Ketiga

3.6.4.3 Deskripsi Masalah

Pressing-in of Bearings merupakan mesin press-in bearing pada housing. Alat ini digunakan untuk memudahkan pemasangan bearing tanpa menimbulkan kerusakan. Pada prosesnya, tekanan diaplikasikan secara lambat dan konstan agar tidak merusak bearing tersebut. Untuk itu, maka digunakan hidrolik *closed loop* untuk mengontrol sistem. Kontroler PID memiliki tiga parameter yang dapat digunakan dalam sebuah sistem tergantung fungsi yang diinginkan. Percobaan ini membahas salah satu parameter dari tiga mode kontroler tersebut, yaitu D.

3.6.5 Percobaan 10 *Pressure* Roller of a Rolling Machine

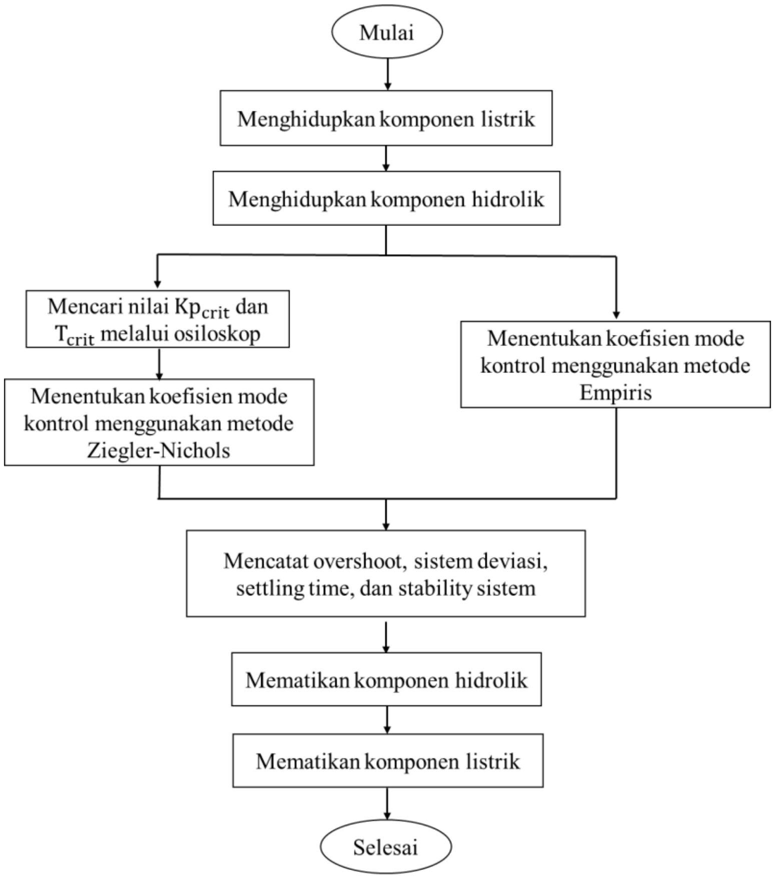


Gambar 3. 24 *Pressure* Roller of a Rolling Machine

3.6.5.1 Tujuan Percobaan

- Menentukan mode kontrol PID menggunakan metode Ziegler-Nichols.
- Menentukan mode kontrol PID menggunakan metode Empiris.

3.6.5.2 Diagram Alir Percobaan



Gambar 3. 25 Diagram Alir Percobaan 10

3.6.5.3 Deskripsi Masalah

Pressure Roller of a Rolling Machine merupakan mesin rolling yang berfungsi untuk mengurangi ketebalan dari lembaran logam. Mesin ini memiliki dua roller dimana salah satunya menjadi bantalan dan yang lainnya memberikan tekanan konstan dengan sistem hidrolik *closed loop*. Sebagai kontroler, ketiga mode kontrol pada PID dapat digunakan pada tingkat optimalnya. Untuk menentukan besar koefisien pada setiap mode kontrol, terdapat beberapa cara. Pada percobaan ini. Koefisien mode kontrol PID akan diatur dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols dan Empiris.

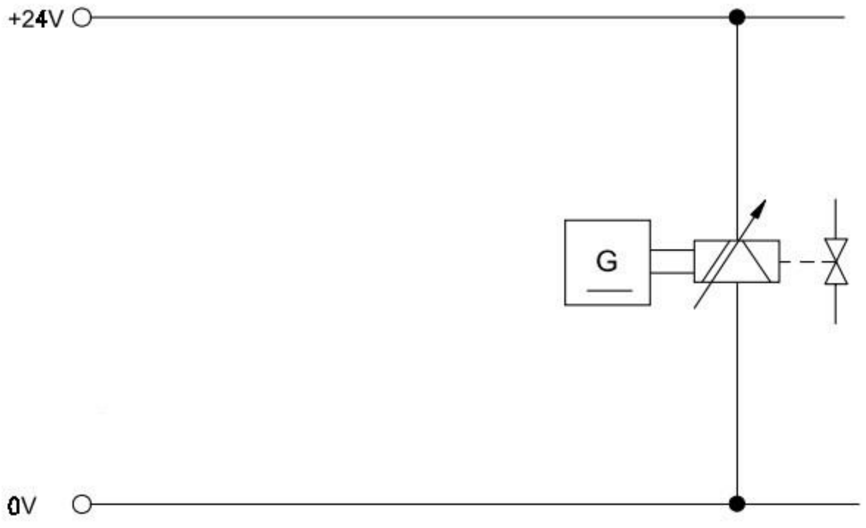
BAB 4
PERCOBAAN DAN ANALISA PEMBAHASAN

4.1 Percobaan 2 : Hot-Forming Press

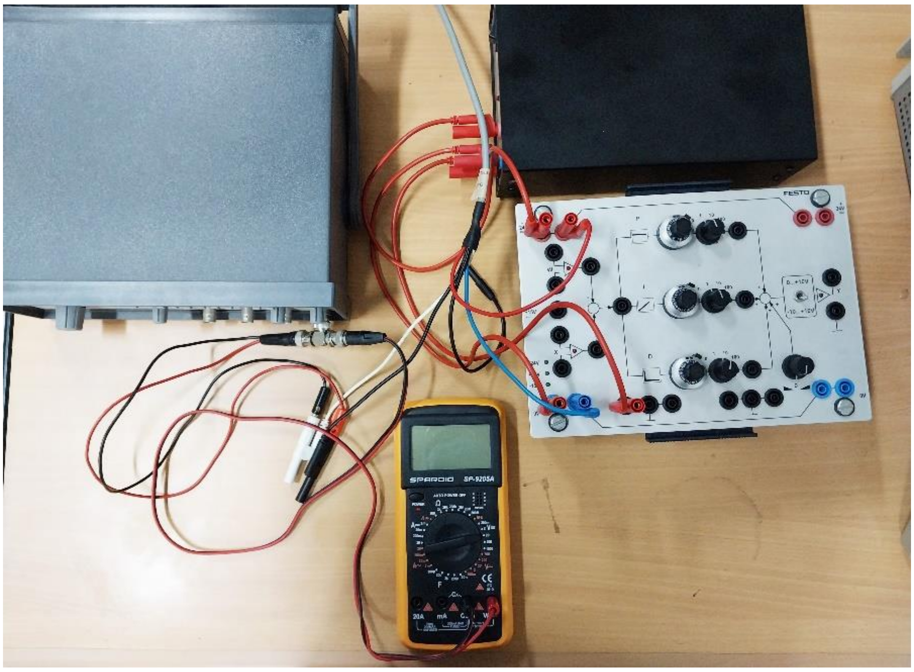
Hot Forming Press merupakan mesin *forging* yang digunakan untuk mengepress panas plat-plat plastik. Proses ini dinamakan *forming plastic products*. Proses forging menggunakan tekanan yang harus dikontrol agar menghasilkan produk dengan ukuran yang sama. Oleh karena itu, mesin ini dirancang menggunakan sistem hidrolik *closed loop*.

Pada sistem hidrolik, katup memiliki peran sangat penting. Begitu pula dalam elektrohidrolik *closed loop*, katup memainkan peran sebagai *final control element* yang menghasilkan sinyal output untuk aktuator. Katup menerima sinyal input dari kontroler dan mengubahnya menjadi bentuk fisik berupa posisi *spool* terhadap lubang untuk mengatur buka tutup katup. Katup mempunyai banyak macam dan fungsi yang disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan. Pada percobaan elektrohidrolik *closed loop* ini, katup yang digunakan adalah katup servo.

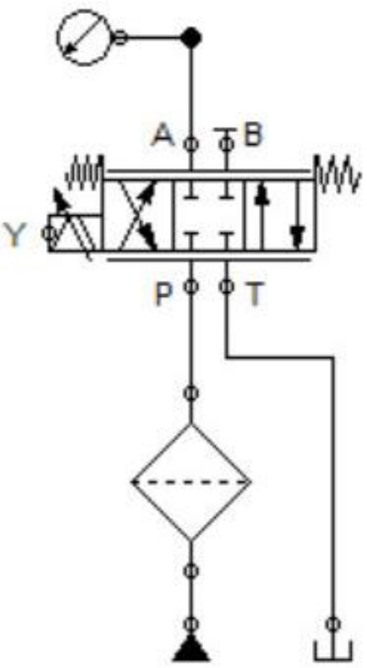
4.1.1 Blok Diagram



Gambar 4. 1 Sirkuit listrik Percobaan 2



Gambar 4. 2 Rangkaian listrik Percobaan 2



Gambar 4. 3 Sirkuit hidrolik Percobaan 2

Gambar 4. 4 Rangkaian hidrolik Percobaan 2

Gambar 4. 5 Lubang A Pada Katup Servo

Gambar 4. 6 Lubang B Pada Katup Servo

Berikut ini daftar komponen listrik dan hidrolik yang digunakan :

Tabel 4. 1 Daftar Komponen Percobaan 2

No	Jumlah	Nama Komponen
1	1	Power Pack
2	1	*Pressure* Filter
3	1	4/3 Way Regulating Valve
4	1	PID *Controller Card*
5	1	Digital Multimeter
6	1	Function Generator
7	1	Power Supply
8	1	*Pressure* Gauge

Penyusunan sirkuit hidrolik dan listrik memerlukan beberapa hal yang perlu diperhatikan agar rangkaian dapat berjalan menjadi satu kesatuan. Untuk komponen hidrolik yang memiliki rangkaian ke sirkuit listrik adalah *4/3 way regulating valve* sehingga kabel-kabel harus disambungkan secara benar. *Function Generator* terhubung secara langsung pada katup dan menjadi sinyal input, sedangkan *pressure gauge* dihubungkan secara bergantian pada kedua lubang katup sembari mencatat tekanan bolak-balik yang dihasilkan (*falling* dan *rising*).

Untuk menentukan karakteristik kurva *4/3 way regulating valve* adalah dengan membandingkan empat keluaran tekanan yang telah diperoleh (lubang kerja katup pertama : *falling* dan *rising*, lubang kerja katup kedua : *falling* dan *rising*) dan sinyal input (*voltage*).

4.1.2 Data Hasil Percobaan

Dengan :

Tekanan maksimum pompa : 58 bar

Input Range : -1V sampai +1V

Maka :

Tabel 4. 2 Data Percobaan 2

Keterangan	Nilai pengukuran									Arah
Input (Voltage)	-1	-0.5	-0.3	-0.1	0	0.1	0.3	0.5	1	-
Tekanan lubang A (bar)	0	4	13	40	55	56	58	58	58	*Rising*
Tekanan lubang A (bar)	0	5	11	43	55	55	57	58	58	*Falling*
Tekanan lubang B (bar)	57	56	50	10	4	2	0	0	0	*Rising*
Tekanan lubang B (bar)	57	55	48	10	3	2	0	0	0	*Falling*

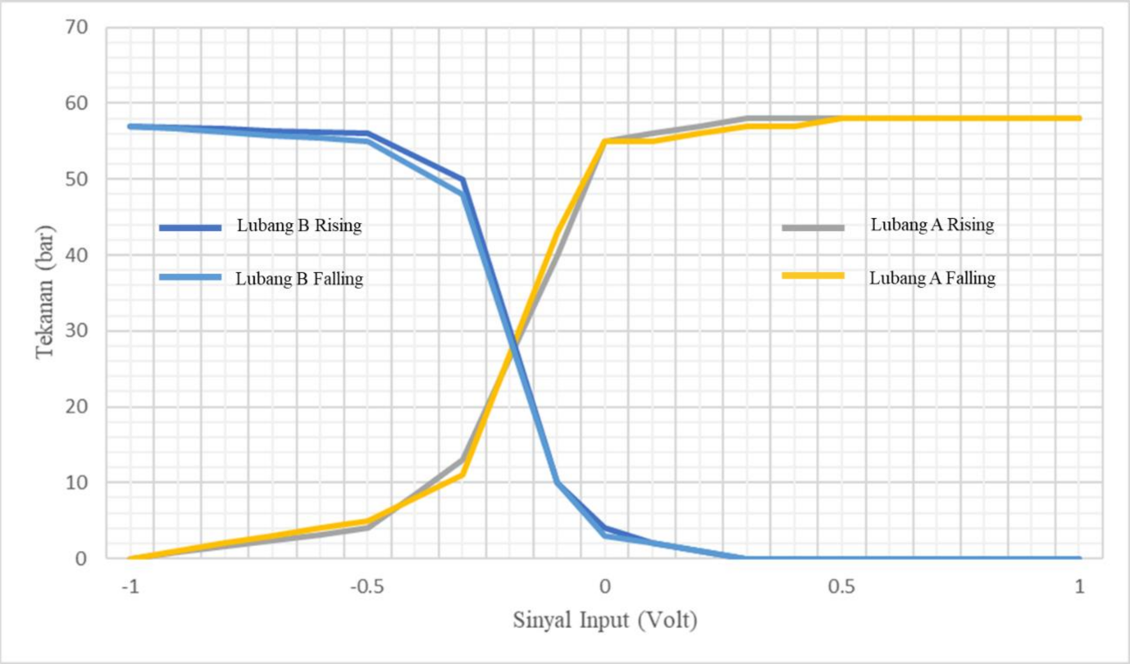
4.1.3 Karakteristik Kurva

Dari data yang diperoleh di atas maka didapat grafik :

Keterangan :

P : Tekanan (bar)

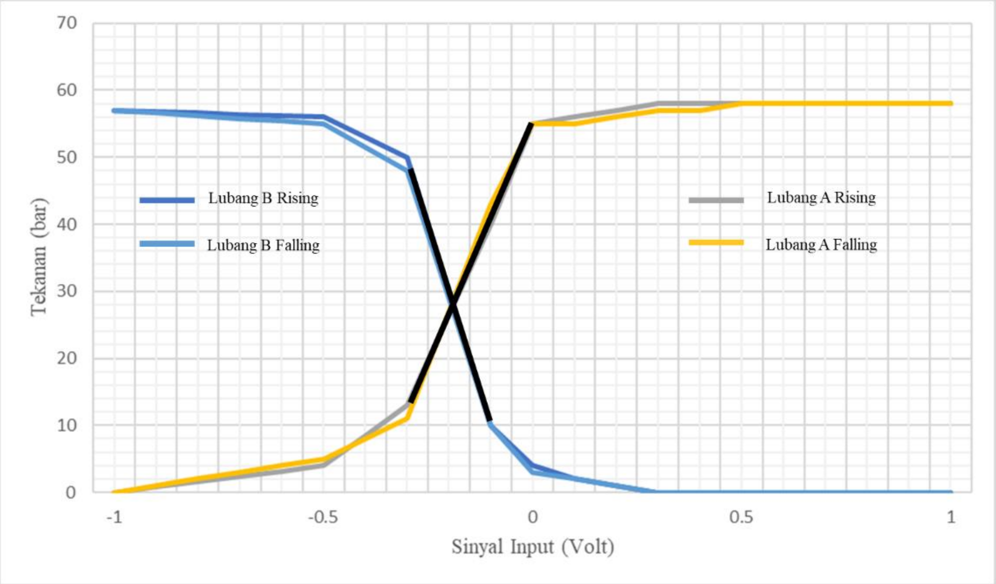
V : Sinyal Input (voltage)



Gambar 4. 7 Karakteristik Valve

Dari hasil percobaan dan grafik di atas, maka diperoleh :

1. Linear Range



Gambar 4. 8 Grafik Linear Range

Persamaan Linier Lubang A Rising :
Berdasarkan grafik linear range 4.8 didapatkan:
Linear Range Sinyal = -0.3 V to 0V
Linear Range Tekanan = 13 to 55 bar
Maka ditentukan persamaan linear:

$$c_m = mc + c_0$$

13 bar = (-0.3V) m + c_0 (4.1)

55 bar = (0V) m + c_0 (4.2)

Subtracting (4.1) dan (4.2)

42 bar = (0.3V) m

m = 140 $\frac{bar}{V}$

c_0 = 13 bar + 0.3V(140$\frac{bar}{V}$)

c_0 = 55 bar

$$c_m = 140\frac{bar}{V} \cdot c + 55\ bar$$

Persamaan Linier Lubang B Rising :
Berdasarkan grafik linear range 4.8 didapatkan:
Linear Range Sinyal = -0.3 V to -0.1 V
Linear Range Tekanan = 50 to 10 bar
Maka ditentukan persamaan linear:

$$c_m = mc + c_0$$

50 bar = (-0.3V) m + c_0 (4.3)

10 bar = (-0.1V) m + c_0 (4.4)

Subtracting (4.3) dan (4.4)

40 bar = (-0.2V) m

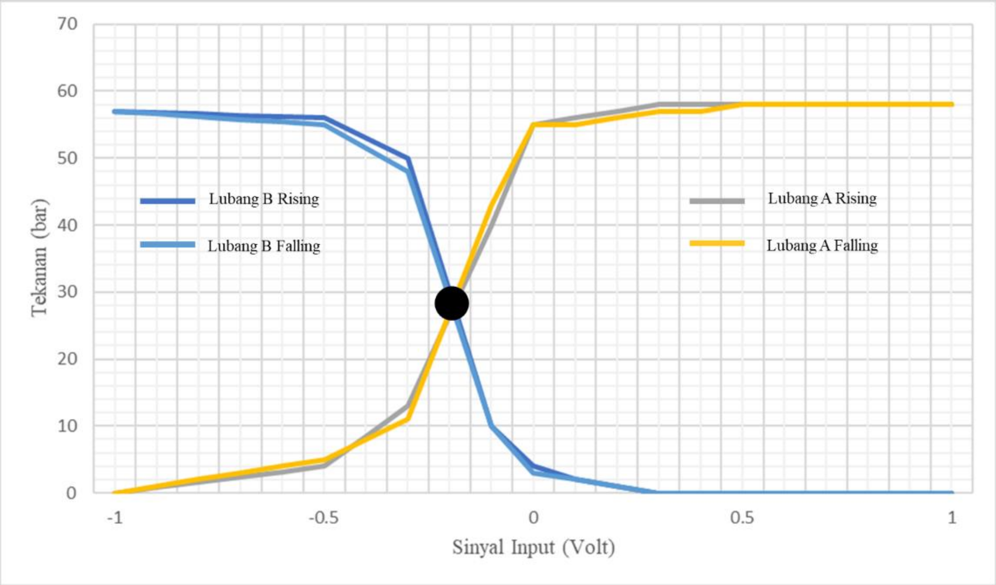
m = 200 $\frac{bar}{V}$

c_0 = 50 bar + 0.3V(200$\frac{bar}{V}$)

c_0 = 110 bar

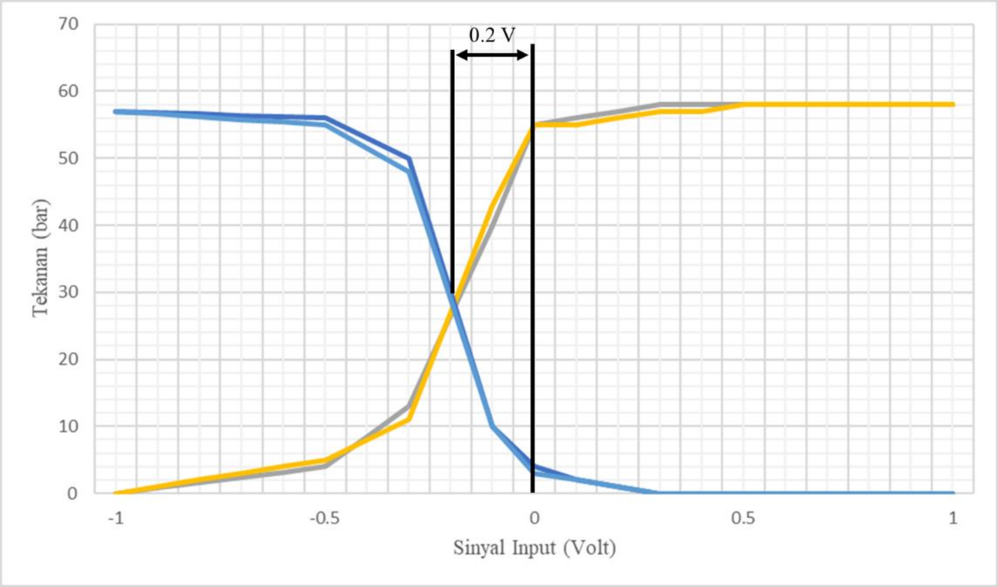
$$c_m = 200\frac{bar}{V} \cdot c + 110\ bar$$

2. Hydraulic *Zero* Point : -0.2 Volt



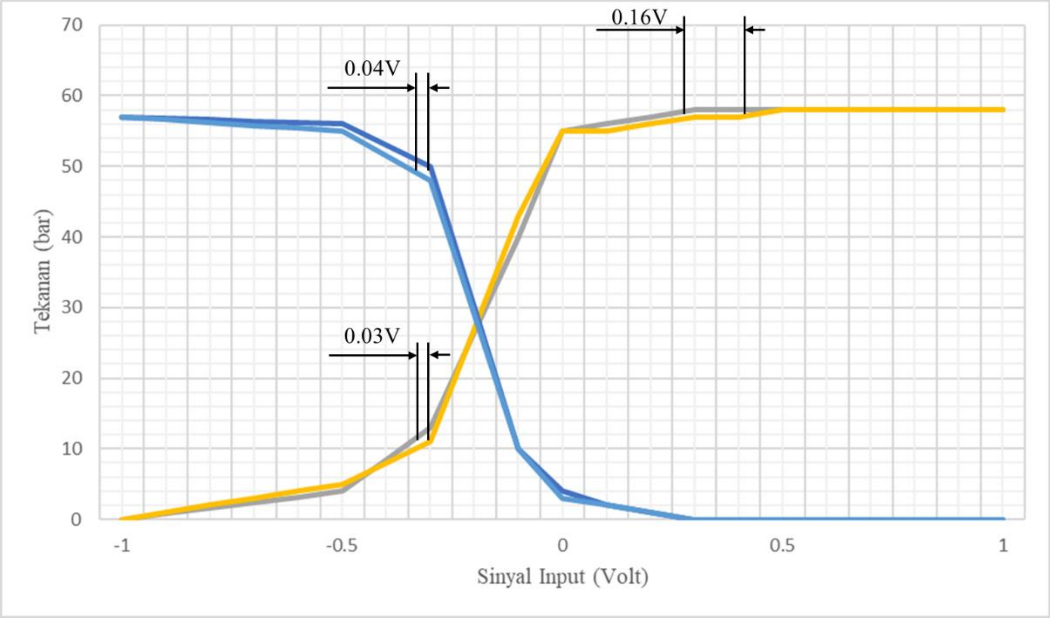
Gambar 4. 9 Hydraulic *Zero* Point

3. Electrical *Zero* Point : 55 bar
4. Asymmetry : 0.2 V



Gambar 4. 10 Assymetry

5. Overlap : Negatif Overlap
6. Hysteresis :



Gambar 4. 11 Hysteresis

$$\mathbf{H} = \frac{\max difference}{input\ range} \times \textbf{\textit{100\%}}$$

$$\mathbf{H} = \frac{0.16V}{20V} \times \textbf{\textit{100\%}}$$

$$\mathbf{H} = 0.8\ \%$$

7. *Pressure* Gain :

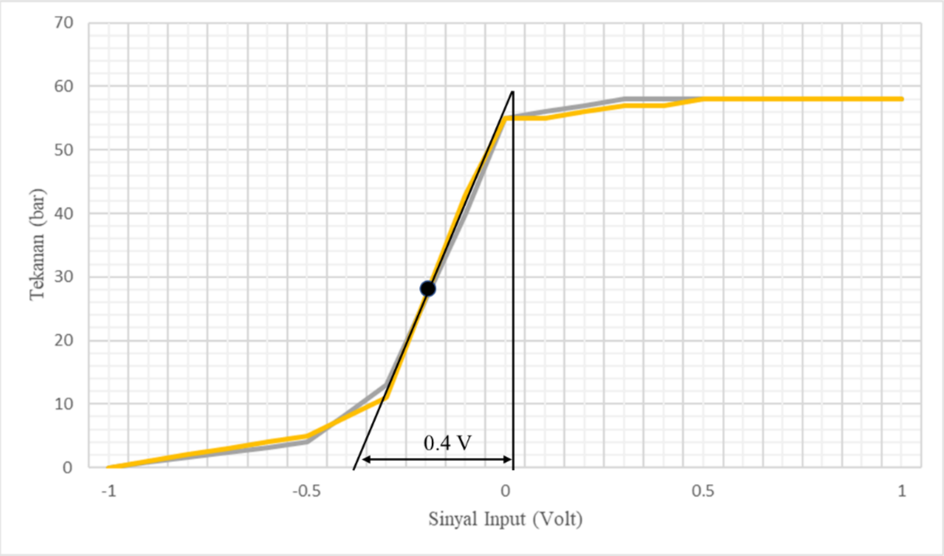
$$\mathbf{K} = \frac{\Delta\ Output\ Signal}{\Delta\ Input\ Signal}$$

$$K_A = \frac{55 - 40\ bar}{0.1\text{ V}} = \frac{15\ bar}{0.1\text{ V}}$$

$$K_B = \frac{10 - 3\ bar}{0.1\text{ V}} = \frac{7\ bar}{0.1\text{ V}}$$

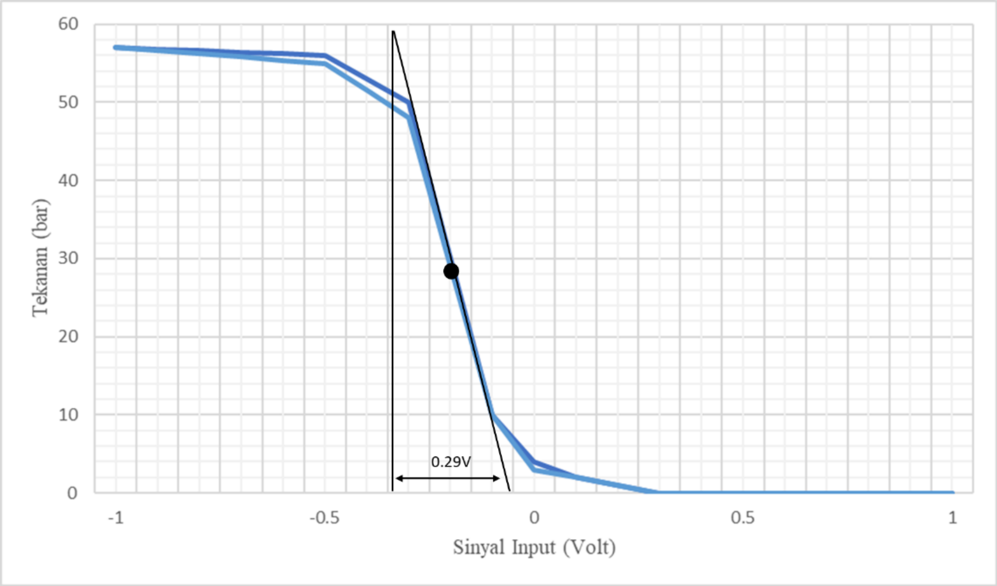
8. Range Sinyal dari *Pressure* Gain

$$Range\ Sinyal\ A = \frac{0.4V}{20V} \times 100 = 2\%$$



Gambar 4. 12 Grafik Range Sinyal A

$$Range\ Sinyal\ B = \frac{0.29V}{20V} \times 100 = 1.45\%$$



Gambar 4. 13 Grafik Range Sinyal B

4.1.4 Analisa Data Hasil Percobaan

1. *Linear Range* dihasilkan dari gradien konstan antara perubahan output dan input. Suatu elemen dikatakan linear apabila kurva input vs output membentuk garis lurus. *Linear Range* merupakan kondisi ketika katup memiliki kinerja yang baik sehingga dapat mempertahankan keluaran yang sebanding ketika input berubah. Dari percobaan menunjukkan bahwa rentang garis linear 4/3 *way regulating valve* pada lubang A adalah pada input -0.3V hingga 0V dengan tekanan yang dihasilkan sebesar 13 hingga 55 bar. Dengan kedua data output dan input dalam linear range, didapatkan persamaan linear :

   $$c_m = 140\frac{bar}{V} \cdot c + 55\ bar$$

   Linear Range pada lubang B terletak pada sinyal input -0.3V hingga -0.1V dengan tekanan yang dihasilkan sebesar 50 bar hingga 10 bar. Dengan data tersebut, didapatkan persaman linear pada katup B:

   $$c_m = 200\frac{bar}{V} \cdot c + 110\ bar$$

   Kedua persamaan tersebut dapat digunakan terbatas pada daerah linear saja dimana sinyal output proporsional dengan sinyal output.
2. *Hydraulic zero point* dalam diagram ditunjukkan dengan adanya persimpangan dua kurva yang memiliki tekanan serta tegangan input yang sama. Nilai *hydraulic zero point* menunjukkan ketika posisi *spool* menutupi kedua lubang katup secara seimbang sehingga tekanan yang terukur juga bernilai sama. Pada percobaan ini, katup memiliki nilai *hydraulic zero point* sebesar -0.2 V, yang menandakan bahwa ketika sinyal input sebesar -0.2V dialirkan ke dalam sistem, maka aliran pada kedua lubang *4/3 way regulating way valve* akan berada dalam keadaan seimbang. Pada katup dengan karakteristik *zero overlap*, nilai *Hydraulic zero point* menandakan ketika tidak ada aliran yang terjadi dalam sistem karena posisi *spool* menutup lubang katup sepenuhnya. Namun, pada katup dengan karakteristik *negative overlap*, *spool* tidak memungkinkan untuk sepenuhnya menghentikan aliran sehingga akan tetap ada fluida yang mengalir dengan besar tekanan yang sama pada kedua lubang katup.
3. *Electric zero point* adalah nilai tekanan yang dihasilkan ketika sinyal input diberikan sebesar 0V. Pada data percobaan, katup memiliki nilai *electric zero point* sebesar 31 bar. Untuk mengetahui offset pada katup (*assymmetry*), yaitu dilakukan dengan cara menghitung rentang tegangan antara nilai *hydraulic zero point* dan *electric zero point*. Assymetry pada katup bernilai 0.2, sehingga katup memerlukan pengaturan tambahan untuk mengatur offset sebesar 0.2 atau menggunakan nilai 0.2 V sebagai titik awal pada sinyal input.
4. *Overlap* dapat diamati dari bentuk kurva yang dihasilkan. Pada kurva data percobaan, gradien tekanan terhadap sinyal mulai menunjukkan kemiringan setelah titik pertemuan di tengah. Ini menunjukkan bahwa *4/3 way regulating valve* adalah *negatif overlap* dimana terdapat celah kecil antara *spool* dengan lubang katup. Spesifikasi katup menurut FESTO TP 511 (lihat lampiran) adalah *zero overlap* sehingga fenomena *negative overlap* ini terjadi karena keausan terhadap *spool*/pinggiran lubang katup yang membuat fluida tetap mengalir.

Walaupun keadaan ini tidak diinginkan, *negatif overlap* memiliki keuntungan yaitu dapat meningkatkan gerakan dinamik yang cepat dengan waktu respon rendah. Namun, adanya celah pada *spool* dan lubang membuat katup memiliki kemungkinan tinggi untuk terjadi kebocoran karena minyak hidrolik dapat terus mengalir melewati celah tersebut.

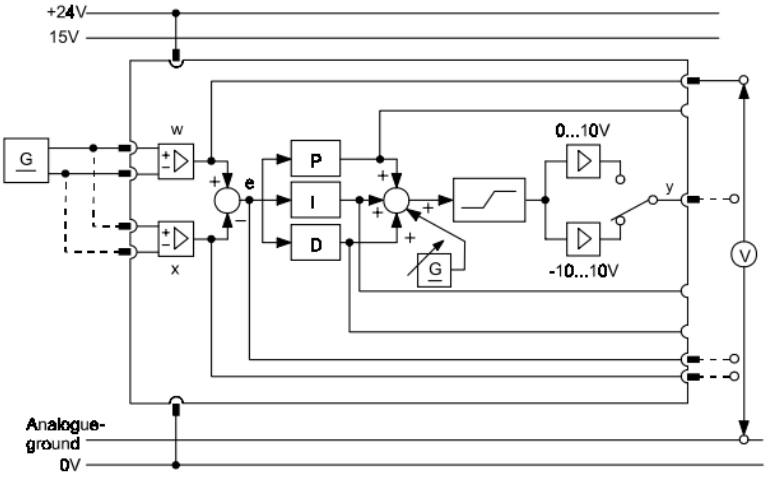
5. Hysteresis dapat dilihat saat sistem beroperasi dua arah. Hysteresis merupakan semacam *error* pada sinyal input. Semakin kecil nilai hysteresis maka semakin baik pula kinerja instrumen. Namun, umumnya katup servo dengan sengaja diproduksi dengan nilai hysteresis yang kecil. Hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi impact atau beban kejut ketika katup beroperasi sehingga adanya hysteresis bersifat sebagai pengaman. Pada grafik 4.11, nilai hysteresis yang terukur berkisar pada 0.8%. Ini menunjukkan bahwa nilai hysteresis pada sistem sangat kecil (<1%) yang menjadi indikator bahwa sinyal input pada *4/3 way regulating valve* dapat bekerja dengan maksimal.
6. Gain merupakan sebuah penilaian performa yang dapat dihitung dengan membandingkan perubahan output dengan perubahan input. *Pressure* gain pada sistem memiliki nilai yang besar yaitu 15bar/0.1V dan 7bar/0.1V dengan range sinyal sebesar 2.1%. *Pressure* gain pada lubang A lebih besar daripada lubang B yang merujuk pada gaya yang dihasilkan lubang A juga lebih besar (untuk mendorong aktuator). Nilai rentang sinyal yang tidak melebihi 5% menandakan bahwa katup dapat bekerja secara cepat dengan gerakan bolak-balik. Oleh karena itu, perubahan sedikit pada sinyal input sebanding dengan keluaran yang besar.

4.2 Percobaan 4 Thread Rolling Machine

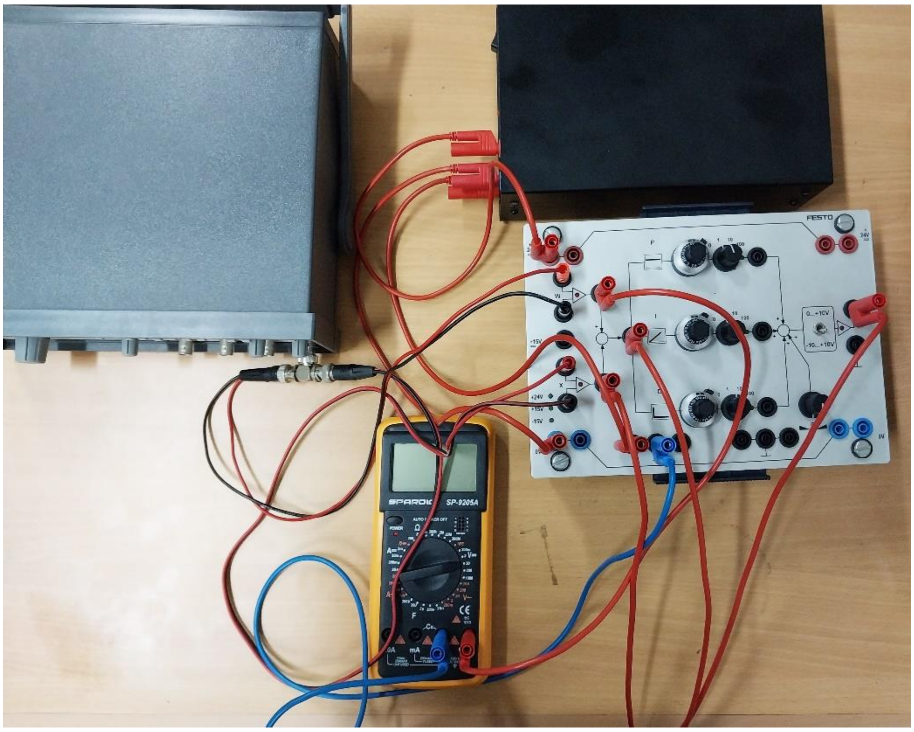
Thread Rolling Machine merupakan mesin pembuat ulir pada sekrup dengan menggunakan roller. Mesin ini menggunakan tekanan untuk mendorong sekrup ke arah rol yang berputar. Pada prosesnya, mesin ini membutuhkan tekanan kerja yang konstan agar hasil produksi sekrup memiliki bentuk dan ukuran ulir yang sama.

Pada sistem kontrol hidrolik *closed loop*, kontroler bertindak sebagai *signal processing* yang memiliki peran penting. Melalui kontroler, *error* yang terjadi dapat dikurangi atau ditiadakan dengan parameter yang tepat. Namun sebelum itu, kontroler harus dilakukan penilaian sehingga dapat diketahui seberapa jauh kinerja kontroler dapat digunakan.

4.2.1 Blok Diagram



Gambar 4. 14 Sirkuit listrik Percobaan 4



Gambar 4. 15 Rangkaian listrik Percobaan 4

Berikut ini daftar komponen listrik dan hidrolik yang digunakan :

Tabel 4. 3 Daftar Komponen Percobaan 4

No	Jumlah	Nama Komponen
1	1	PID *Controller Card*
2	1	Digital Multimeter
3	1	Function Generator
4	1	Power Supply

Pada percobaan kedua, penyusunan hanya dilakukan pada sirkuit listrik. Power Supply akan disambungkan dengan PID Controller dengan sinyal input (*reference variable* dan *controlled variable*) berasal dari *function generator*. Untuk mengetahui kinerja PID Controller maka beberapa hal yang harus diperhatikan adalah *range* input yang dapat diterima, *range* output yang dapat dikeluarkan, dan penyesuaian *error* pada *summer point*. Semua nilai tersebut dapat dilihat melalui multimeter digital.

4.2.2 Data Hasil Percobaan

Dengan pengaturan kontroler:

Parameter Kontroler : 0

Limiter : ±10V

Maka didapatkan data-data sebagai berikut:

5.1.1.1 Variabel Input

Tabel 4. 4 Data Percobaan 4– Variabel Input

Karakteristik	Nilai maksimum	Nilai minimum
Reference Variable	+10.58 V	-10.31 V
Controlled Variable	+10.56 V	-10.27 V

5.1.1.2 Summation Point

Tabel 4. 5 Data Percobaan 4 – Summation Point

Reference Variable	Controlled Variable	e	Perhitungan
2.009	2.013	-0.005	2.009-2.013 = -0.004
8.08	8.10	-0.021	8.08-8.10 = -0.02
10.05	10.07	-0.025	10.05-10.07 = -0.02
-5.062	-5.075	0.011	-5.062-(-5.075) = 0.013
-10.26	-10.29	0.025	-10.26-(-10.29) = 0.03

Selisih maksimum e (pada kontroler) dan perhitungan manual menurut data di atas adalah:
0.03-0.025 = 0.005
Prosentase *error* maksimum kontroler:

$$\frac{0.005}{0.03} x\ 100\% = 1.67\%$$

5.1.1.3 Variabel Output

Tabel 4. 6 Data Percobaan 4 – Variabel Output

Range	Nilai maksimum	Nilai minimum
0V to +10V	+8.56 V	+1.5 V
-10V to +10V	+7.07 V	-7 V

4.2.3 Analisa Data Hasil Percobaan

1. *Function generator* sebagai sinyal input dapat memberikan masukan ±10V (hingga +5V) , sedangkan pada *PID Controller Card, reference variable* (w) dapat membaca sinyal input sebesar +10.58 V hingga -10.31 V (dengan toleransi) dan *controlled variable* (x) membaca sinyal dengan jarak nilai +10.56 V hingga -10.29 V (dengan toleransi). Berdasarkan data tersebut, *variable* input dapat digunakan pada performa maksimum karena batas maksimum pada spesifikasi PID *Controller Card* dapat menghasilkan

keluaran ±10V. Perbedaan nilai pada kedua sinyal input dapat dikarenakan beberapa hal, yaitu diantaranya : toleransi pada alat ukur (0.5%+2) atau kinerja PID Controller yang telah menurun.

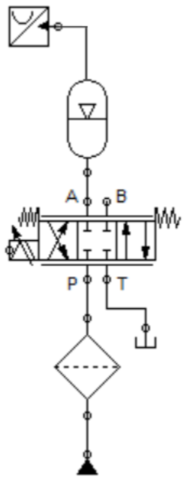
2. Summation Point merupakan perbedaan antara *reference variable* (w) dan *controlled variable* (x) yang mempunyai peran penting pada kinerja PID Controller sebagai koreksi *error*. Berikut adalah persamaannya : e = w – r . Dari kelima data yang telah diambil, sinyal input divariasikan untuk mengetahui kinerja dari e. Data yang dihasilkan pada table 4.5 menunjukkan sedikit perbedaan antara *error* yang terbaca pada PID *Controller Card* dan perhitungan aktual dengan selisih maksimum 0.005. Dengan selisih nilai tersebut didapatkan prosentasi keerorran pada PID *Controller Card* sebesar 1.67%. Nilai ini masih tergolong kecil (kurang dari 5%) yang menunjukkan bahwa PID *Controller Card* masih dianjurkan untuk digunakan.
3. Terdapat dua range sinyal output yang dapat dikeluarkan oleh *PID Controller Card* yang disebut limiter. Nilai maksimum dan minimum pada setiap limiter ditentukan dengan cara mengubah nilai offset ke nilai maksimum dan minimum pula. Offset adalah penambahan atau koreksi manual yang dapat disetting secara manual jika terdapat selisih atau *error* yang tidak sepenuhnya terhitung. Dari data yang diambil, terlihat bahwa range yang dapat dikeluarkan oleh PID Controller adalah +1.5 V hingga +8.6 V (limiter 0V to 10V) dan -7 V hingga +7 V (limiter -10 V to +10 V).

4.3 Percobaan 6 Clamping Device

Clamping Device merupakan perangkat penjepit yang digunakan untuk menekan papan kayu. Tekanan pada saat menjepit perlu diatur dengan benar agar tidak melebihi atau turun pada batas tertentu sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada papan kayu. Untuk alasan ini, maka tekanan dikontrol menggunakan hidrolik *closed loop* sehingga dapat mengatur tekanan ke tingkat optimal. Pada penggunaannya, sistem kontrol memiliki beberapa parameter yang harus ditetapkan berdasarkan tingkat kualitas yang dikeluarkan. Dalam hal ini, percobaan dilakukan untuk menentukan kualitas kontrol yang optimal pada sebuah sistem.

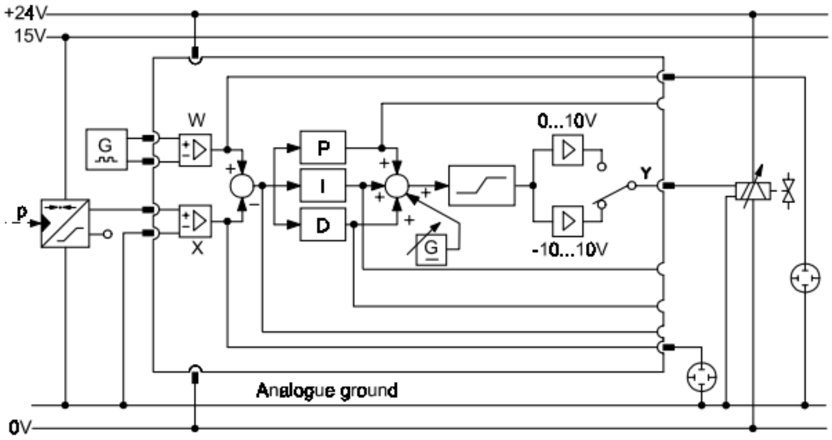
Pada hidrolik *closed loop*, tidak semua mode pada kontroler bisa digunakan secara sembarangan. Terdapat pengaturan parameter yang harus dipenuhi agar membuat kualitas kontrol ke tingkat yang optimal. Percobaan keenam menggunakan mode kontrol P yang akan dilakukan percobaan variasi K_P dengan memperhitungkan *overshoot*, sistem deviasi *steady state*, dan *seetling time* sehingga mendapatkan K_P optimal.

4.3.1 Blok Diagram

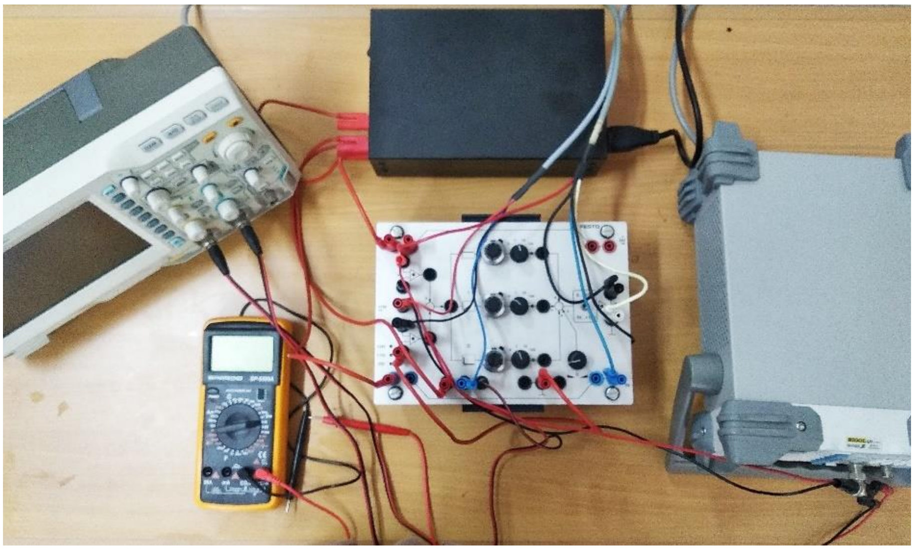


Gambar 4. 16 Sirkuit hidrolik Percobaan 6

Gambar 4. 17 Rangkaian hidrolik Percobaan 6



Gambar 4. 18 Sirkuit listrik Percobaan 6



Gambar 4. 16 Rangkaian listrik Percobaan 6

Berikut ini daftar komponen listrik dan hidrolik yang digunakan :

Tabel 4. 7 Daftar Komponen Percobaan 6

No	Jumlah	Nama Komponen
1	1	Power Pack
2	1	*Pressure* Filter
3	1	4/3 Way Regulating Valve
4	1	*Pressure* Sensor
5	1	Akumulator
6	1	Osiloskop
7	1	Digital Multimeter
8	1	Function Generator
9	1	Power Supply
10	1	PID *Controller Card*

Penyusunan dilakukan dengan menggabungkan rangkaian listrik dan hidrolik. *Function generator* bertindak sebagai sinyal input pada *reference varible* PID *Controller Card* sedangkan *controlled variable* akan menerima sinyal input dari keluaran *pressure sensor*. Variasi yang dilakukan adalah terhadap nilai Kp pada *PID Controller* serta nilai input dari function generator. Keluaran dari *PID Controller Card* disambungkan dengan 4/3 *Way Regulating Valve* yang kemudian akan dilakukan pengukuran oleh *pressure sensor*.

Untuk menganalisis kualitas kontrol, maka pengambilan data dilakukan pada osiloskop dan kemudian membandingkan keseluruhan data yang telah didapatkan untuk menentukan besar nilai K_P yang menghasilkan kontrol optimal.

4.3.2 Data Hasil Percobaan

5.1.1.4 Kualitas Kontrol

Dengan pengaturan pada setiap komponen sebagai berikut:

Function Generator :

Sinyal Input : 2V

Frekuensi : 5 Hz

Waveform : Step

Osiloskop :

Time/t : 20 ms/Div

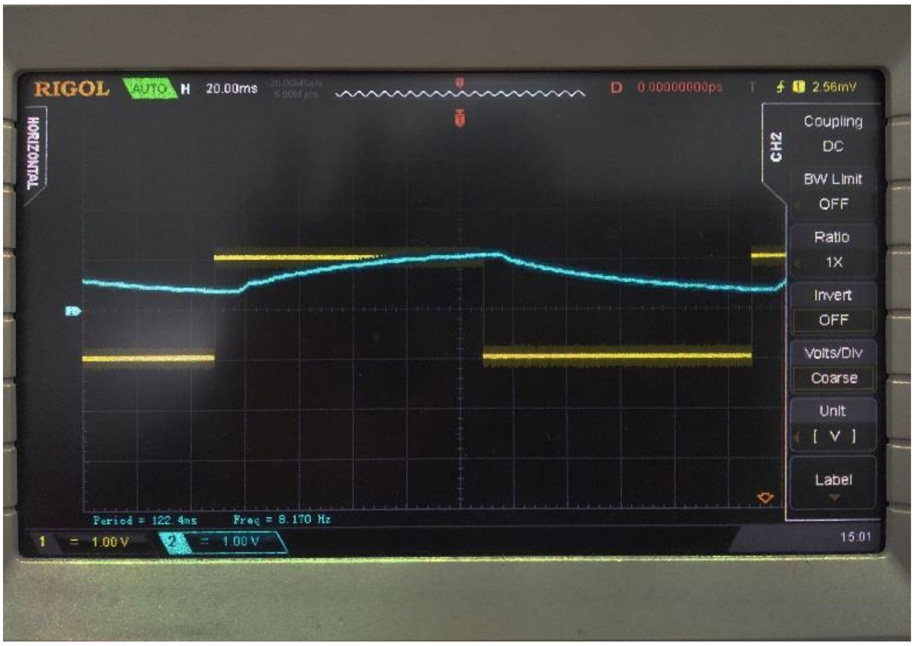
Sinyal w (reference variable) : 1 V/Div

Sinyal x (controlled variable) : 1V/Div

Maka didapatkan data :

Tabel 4. 8 Data Percobaan 6 – Kualitas Kontrol

Kp	x_m **(V)**	e_{stat} **(V)**	T_a **(ms)**	**Osilasi**
1	0	0	66	Tidak ada
3	0	0	54	Tidak ada
5	0	0	44	Tidak ada
7	0.2	0	60	*Overshoot* di awal
10	0.7	0	56	*Overshoot* di awal

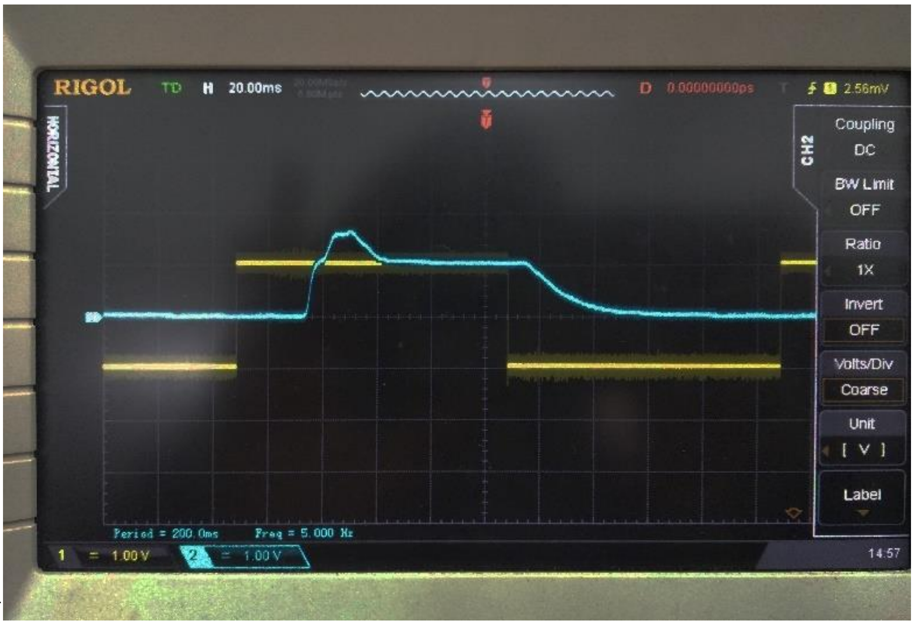


Gambar 4. 17 Osilasi Kp 1

Gambar 4. 18 Osilasi Kp 3

Gambar 4. 19 Osilasi Kp 5

Gambar 4. 20 Osilasi Kp 7



Gambar 4. 21 Osilasi Kp 10

5.1.1.5 Limit Stabilitas

Dengan pengaturan pada setiap komponen sebagai berikut:

Function Generator :

Frekuensi : 5 Hz

Waveform : Step

Osiloskop :

Time/t : 20 ms/Div

Sinyal w (*reference variable*) : 1 V/Div

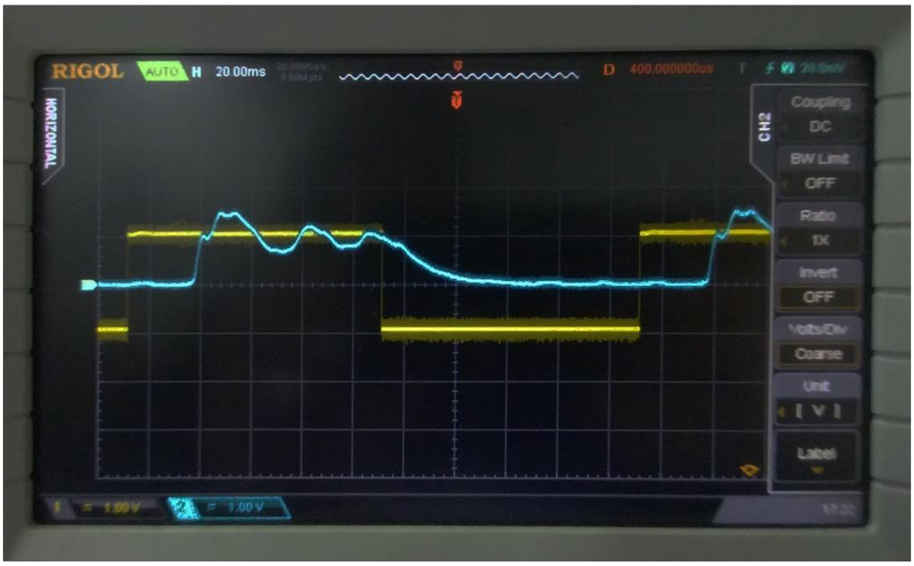
Sinyal x (*controlled variable*): 1V/Div

Maka didapatkan data :

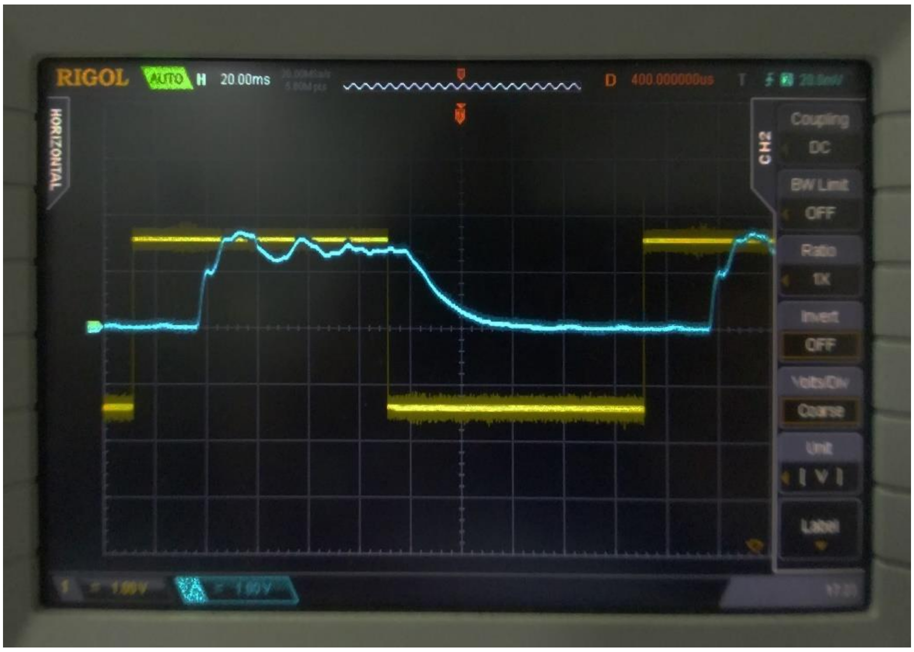
Tabel 4. 9 Data Percobaan 6 – Limit Stabilitas

Reference Variable w	**Limit Stabilitas Kp_{crit}**
1V	19
2V	23
3V	21

Gambar 4. 22 Osilasi Kp_{Crit} 1V



Gambar 4. 23 Osilasi Kp_{Crit} 2V



Gambar 4. 24 Osilasi Kp_{Crit} 3V

4.3.3 Analisa Data Hasil Percobaan

1. Kualitas kontrol merupakan parameter untuk menentukan optimal atau tidaknya sebuah sistem kontrol. Evaluasi kualitas kontrol dapat dilihat dari respon transien yang dinilai setelah terbentuk perubahan langkah (*step-change*). Beberapa hal yang menentukan kualitas kontrol diantaranya: *overshoot* (x_m), sistem deviasi *steady state* (e_{stat}), *settling time* (T_a), dan osilasi. Pada percobaan kualitas kontrol, sinyal input diberikan dengan nilai yang sama namun dengan K_P yang divariasikan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua koefisien pada mode kontrol dapat digunakan dengan sembarangan. Diperlukan analisa untuk mengatur koefisien kontroler agar sistem dapat berjalan dengan baik. Pada data yang telah didapat, K_P dengan nilai 5 memiliki kualitas kontrol yang optimal dengan minim osilasi dan *settling time* yang cepat dibanding kualitas kontrol hasil nilai K_P lain. Jika K_P terlalu rendah maka *settling time* yang dibutuhkan semakin lama, namun jika K_P terlalu tinggi maka dapat menimbulkan *overshoot* hingga osilasi.
2. Dari pengambilan data table 4.8, terlihat bahwa nilai *settling time* (T_a) berangsur menurun seiring meningkatnya nilai K_P. Hal ini merupakan karakteristik dari kontroler P dimana memiliki respon cepat ketika terjadi perubahan input dan akan semakin cepat pula jika nilai K_P semakin besar. Namun, harus diperhatikan bahwa nilai K_P yang berlebihan akan menyebabkan *overshoot* dan osilasi.
3. Limit stabilitas Kp_{crit} ditentukan dengan cara meningkatkan koefisien proporsional (K_P) hingga mencapai kondisi ketika osilasi terus menerus terjadi. Ini merupakan batas nilai K_P yang dapat digunakan secara optimal oleh sinyal input. Oleh karena itu, untuk setiap nilai sinyal input yang akan digunakan harus terlebih dahulu diketahui limit stabilitasnya. Pada percobaan table 4.9 didapatkan nilai Kp_{crit} untuk tiga variasi sinyal input dimana jika sistem ingin menggunakan mode kontrol P dengan sinyal input tersebut, maka pengaturan nilai koefisien P dianjurkan di bawah nilai Kp_{crit} agar mendapat kestabilan sistem yang *steady state*.

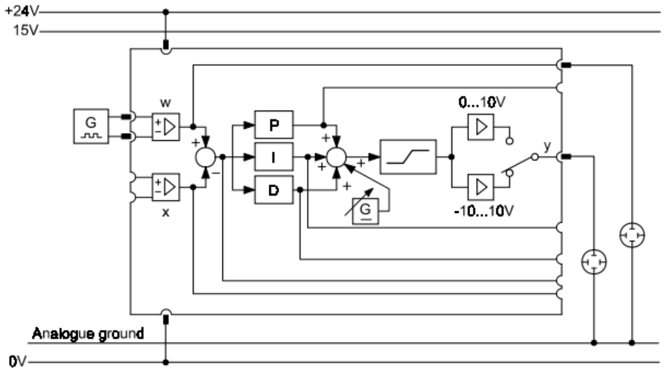
4. Pada Clamping Device, tekanan yang dibutuhkan harus konstan untuk menahan papan kayu. *Overshoot* menyebabkan tekanan dalam sistem melebihi dari sinyal input yang diinginkan (*reference variable*). Jika tekanan terlalu besar (melewati batas maksimum) maka akan merusak papan saat proses penjepitan, sedangkan jika tekanan terlalu kecil (ditunjukkan dengan adanya *error steady state* pada osiloskop), maka proses penjepitan tidak dapat mengeluarkan fungsi yang optimal. Pengaruh *settling time* dapat diketahui ketika pada sistem terdapat *interference* atau *disturbance*. *Settling time* adalah lama waktu yang dibutuhkan sistem untuk dapat mengembalikan sistem pada keadaan optimal dimana nilai tersebut bergantung pada nilai K_P. Oleh karena itu, operator perlu untuk melakukan analisis kualitas kontrol pada koefisien mode kontrol yang digunakan sehingga mesin dapat beroperasi secara optimal.

4.4 Percobaan 8 Pressing-in of Bearings

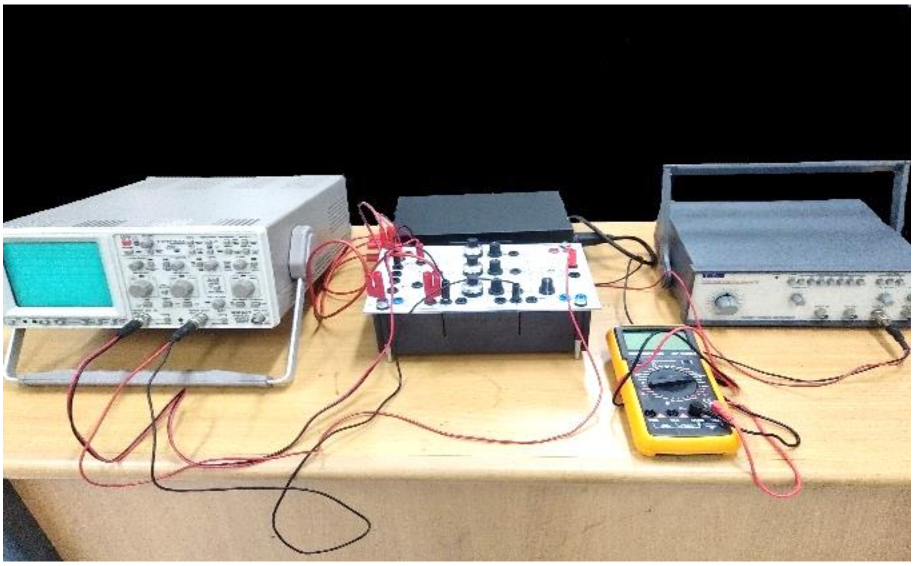
Pressing-in of Bearings merupakan mesin press untuk memasang bearing pada housing. Alat ini digunakan untuk memudahkan pemasangan bearing tanpa menimbulkan kerusakan. Pada prosesnya, tekanan diaplikasikan secara konstan agar tidak merusak bearing tersebut. Untuk itu, maka digunakan hidrolik *closed loop* untuk mengontrol sistem. Kontroler PID memiliki tiga parameter yang dapat digunakan dalam sebuah sistem tergantung fungsi yang diinginkan.

Pada percobaan ini, akan dilakukan analisis terhadap 3 parameter pada *PID Controller* yaitu D, PD, dan PID. Pada dasarnya, percobaan ini berfokus terhadap *transition function* yang dihasilkan oleh mode kontrol D dan pengaruhnya jika dikombinasi dengan mode kontrol lain.

4.4.1 Blok Diagram



Gambar 4. 25 Sirkuit listrik Percobaan 8



Gambar 4.16 Rangkaian listrik Percobaan 8

Berikut ini daftar komponen listrik dan hidrolik yang digunakan :

Tabel 4. 10 Daftar Komponen Percobaan 8

No	Jumlah	Nama Komponen
1	1	PID *Controller Card*
2	1	Digital Multimeter
3	1	Function Generator
4	1	Power Supply
5	1	Osiloskop

Percobaan keempat hanya memerlukan sirkuit listrik. *Power Supply* mengubah tegangan AC menjadi DC dengan batas maksimum 24 V yang kemudian disambungkan dengan *PID Controller*. Sinyal input pada *reference variable* berasal dari function generator, sedangkan *controlled variable* tidak memiliki sinyal input. Variasi yang dilakukan adalah pada pengaturan K_P, K_I, dan K_D untuk masing-masing mengetahui *transition function* dari D, PD, dan PID. Hasil tersebut dapat dilihat melalui osiloskop yang telah disambungkan pada *reference variable* dan *output* kontroler (*correcting variable*).

4.4.2 Data Hasil Percobaan

Dengan pengaturan komponen sebagai berikut :

Osiloskop :

Time/t : 100 ms/Div

Sinyal w (*reference variable*) : 5 V/Div

Sinyal y (*correcting variable*) : 5V/Div

Maka data yang didapatkan sebagai berikut :

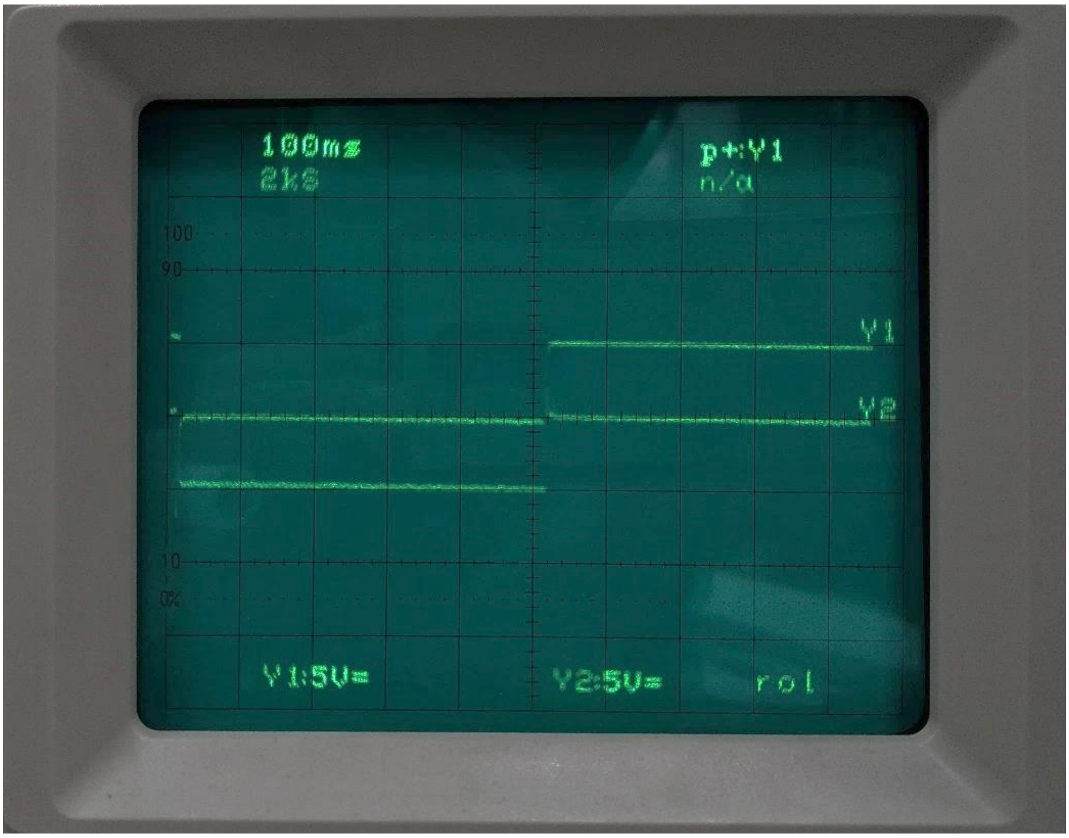
5.1.1.6 Kontroler D

Sinyal input : 10 V

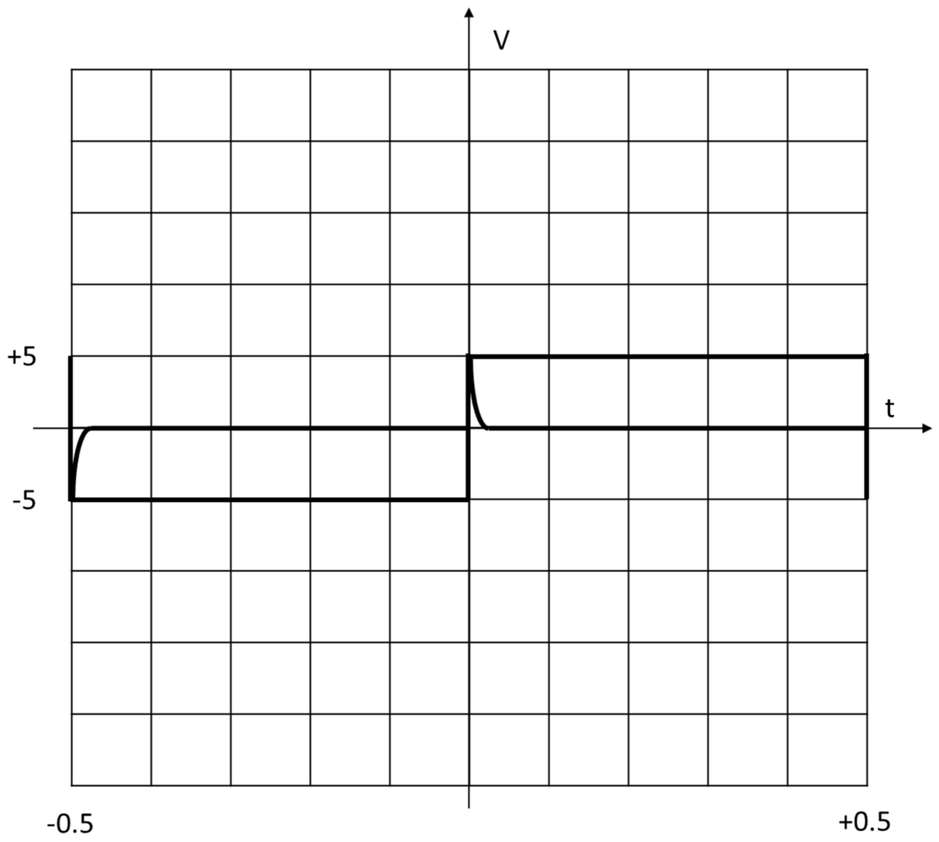
f : 1 Hz

Waveform : Step & Ramp

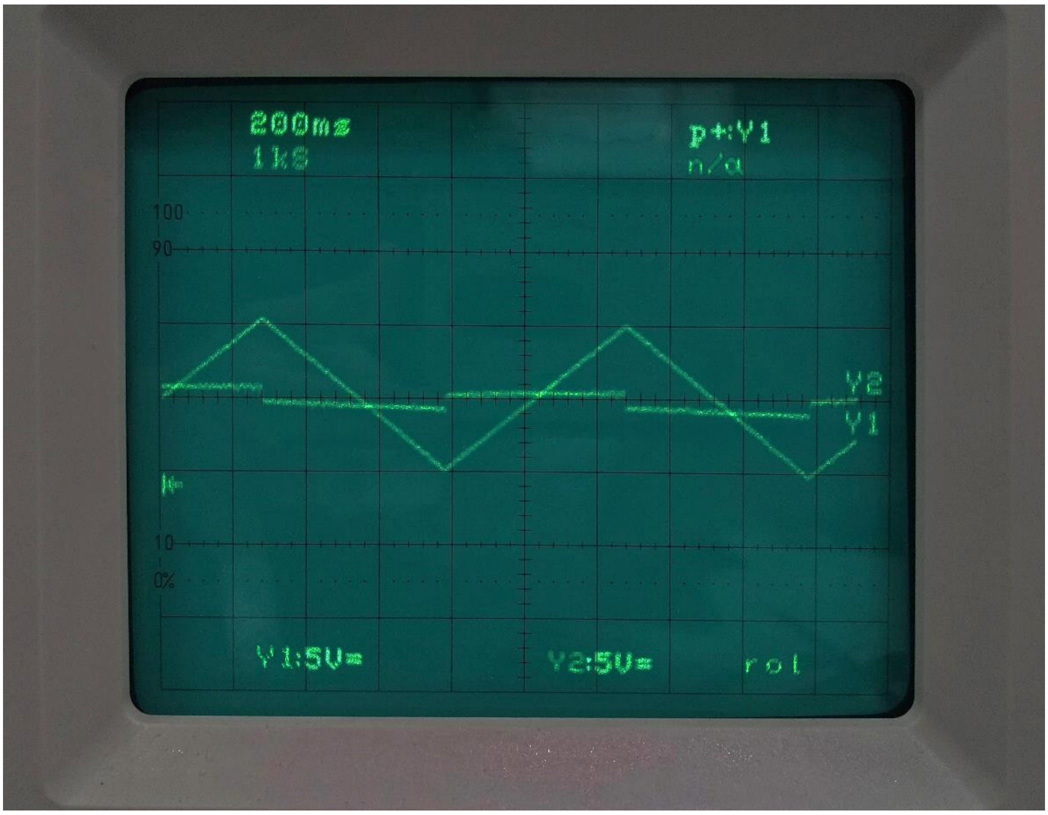
K_D : 20



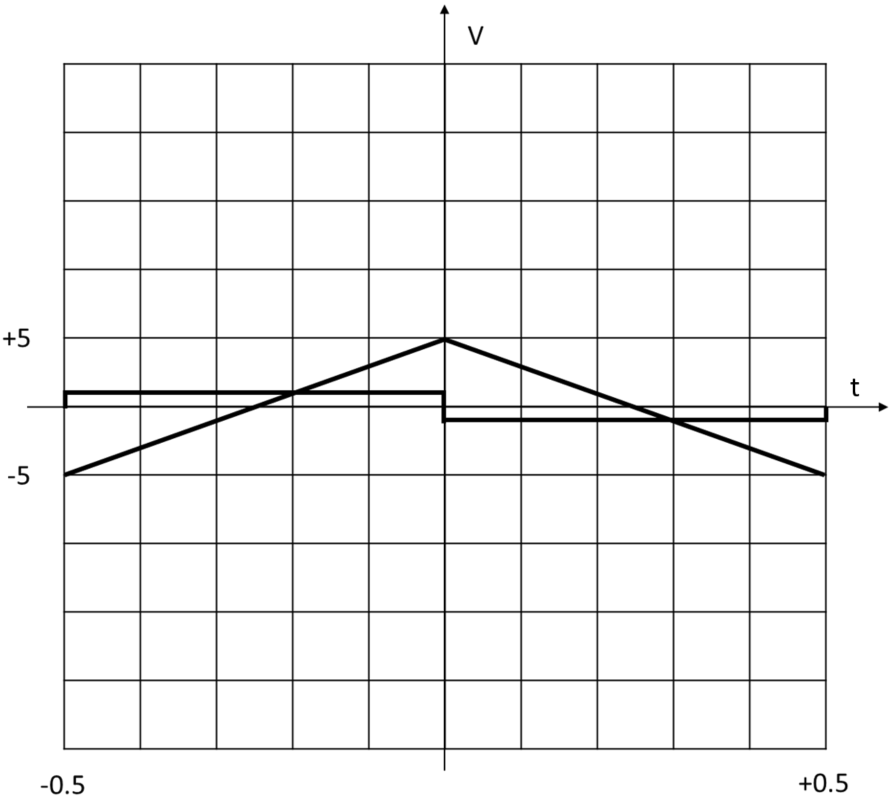
Gambar 4. 26 Osiloskop Sinyal Step Mode Kontrol D



Gambar 4. 27 Plot Grafik Sinyal Step Mode Kontrol D



Gambar 4. 28 Osiloskop Sinyal Ramp Mode Kontrol D



Gambar 4. 29 Plot Grafik Sinyal Ramp Mode Kontrol D

$f \quad = 1\ Hz$

$f \quad = \frac{1}{T\ (s)}$

$1\ Hz = \frac{1}{T\ (s)}$

$T \quad = 1\ s$

Jadi, $1\ Hz = 1\frac{1}{s}$

Kemiringan *reference variable* (w) :

$\frac{\Delta w}{\Delta t} = 4 \cdot A \cdot f$

$\quad = 4 \cdot 10V \cdot 1\frac{1}{s} = 40\frac{V}{s}$

Hasil *magnitude* K_D untuk *correcting variable* (y):

$y \ = K_D \cdot \frac{\Delta w}{\Delta t}$

$\quad = 0.020s \ \cdot 40\frac{V}{s} = 0.8V$

5.1.1.7 Kontroler PD

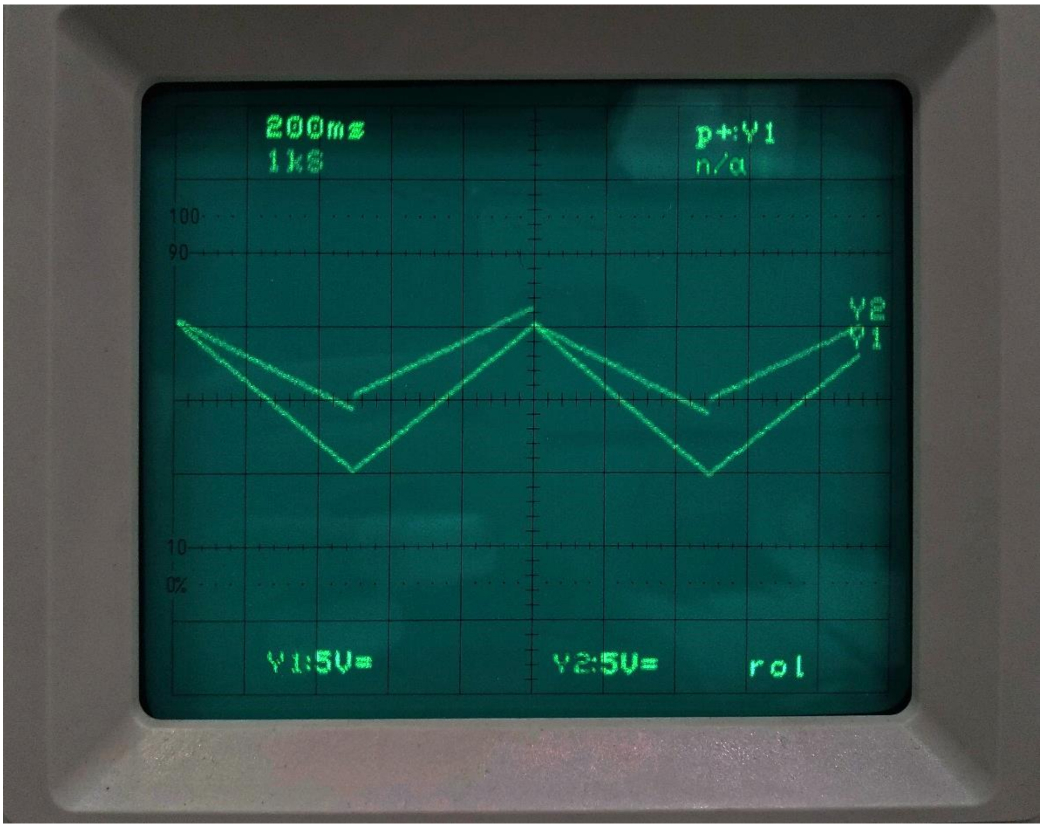
Sinyal input (w) : 10 V

Waveform : Ramp

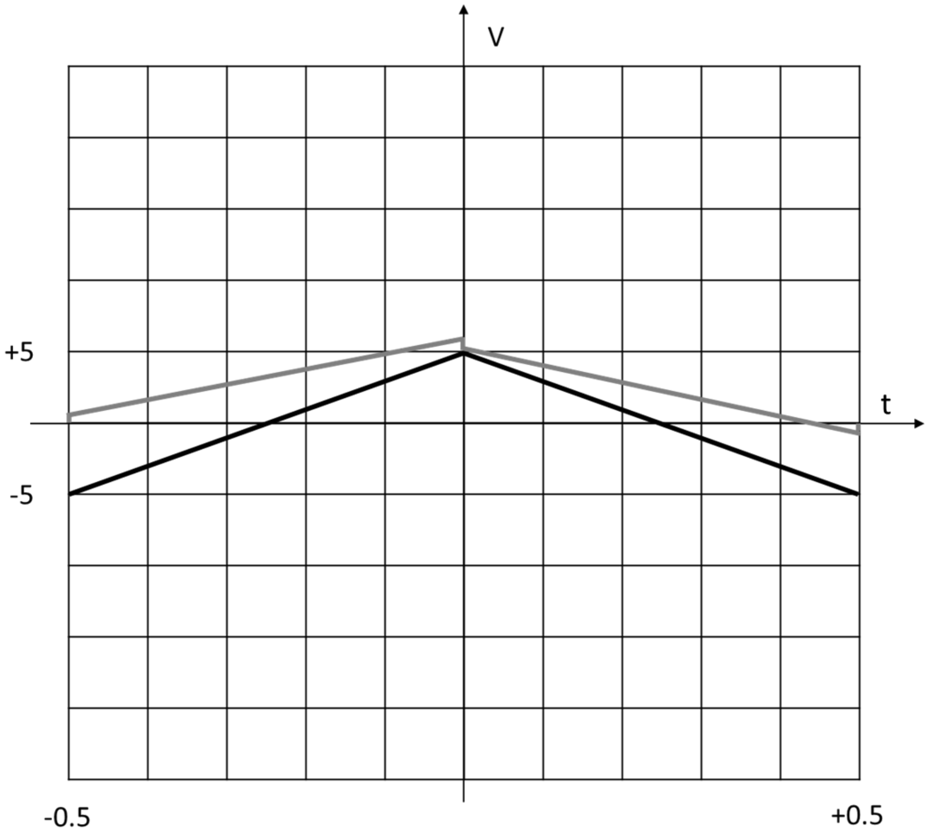
f : 1 Hz

(1) K_P = 0.5 dan K_D = 20 ms

(2) K_P = 1 dan K_D = 55 ms



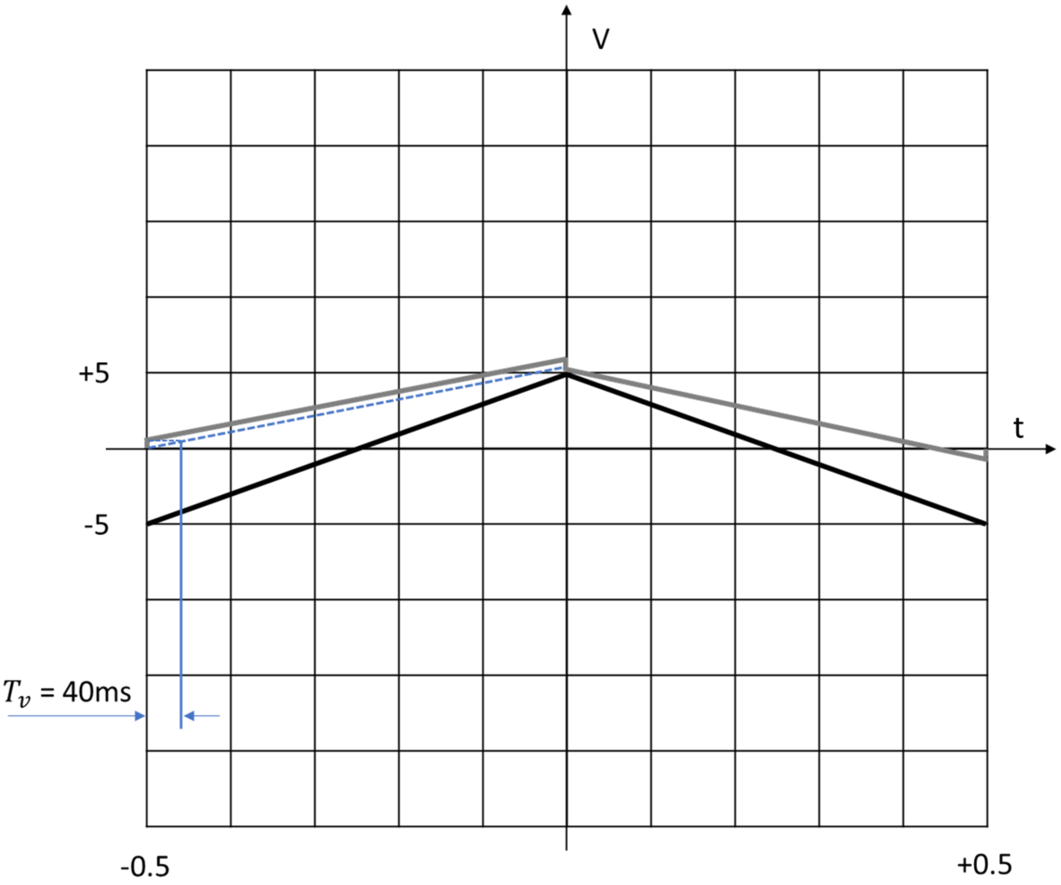
Gambar 4. 30 Osiloskop Kontroler PD (1)



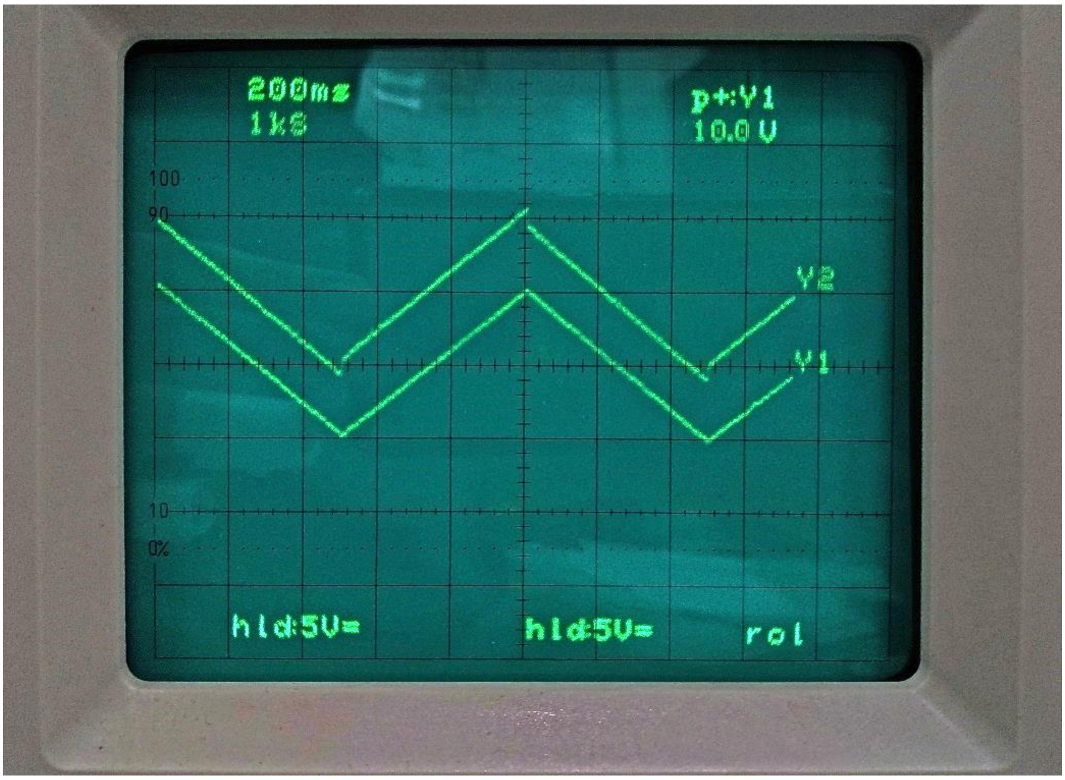
Gambar 4. 31 Plot Grafik Kontroler PD (1)

$$T_{v1} = \frac{K_D}{K_P}$$

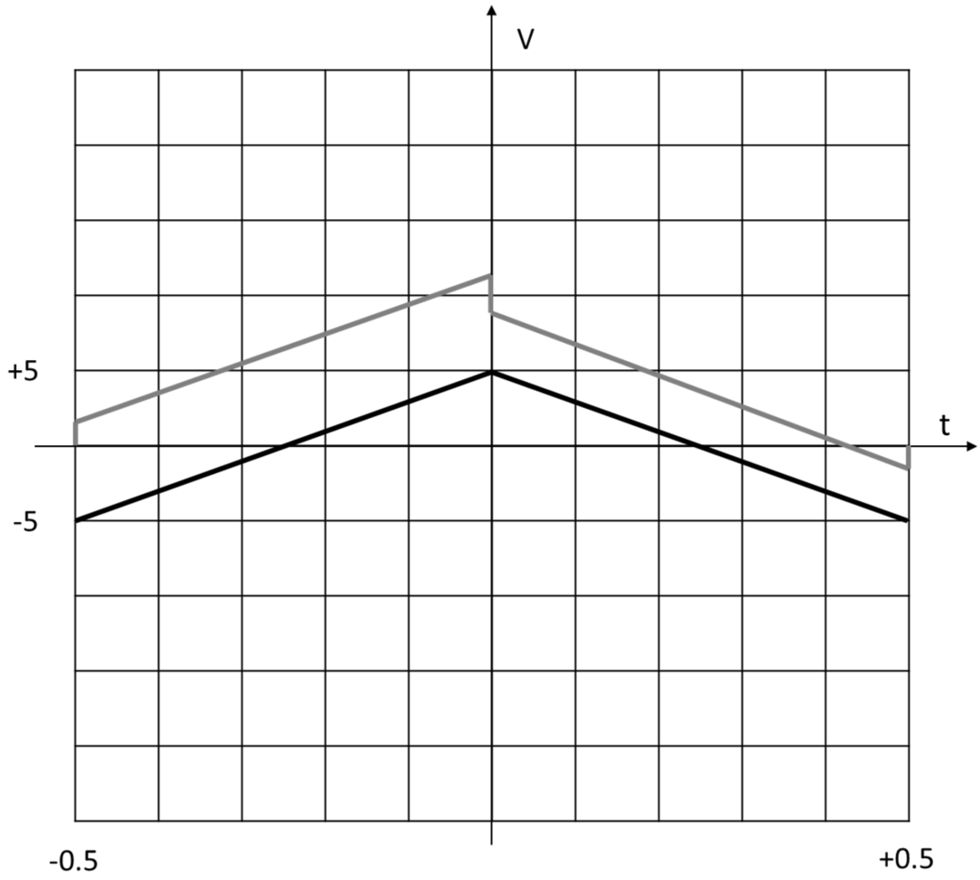
$$= \frac{0.020s}{0.5} = 0.04s = 40ms$$



Gambar 4. 32 T_v Grafik Kontroler PD (1)



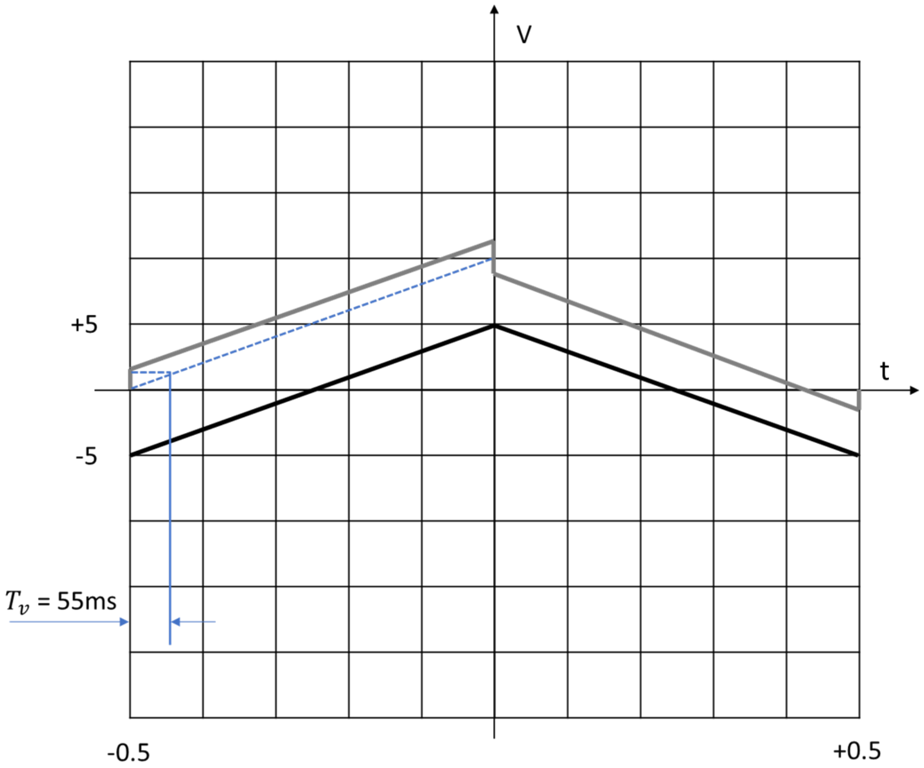
Gambar 4. 33 Osiloskop Kontroler PD (2)



Gambar 4. 34 Plot Diagram Kontroler PD (2)

$$T_{v2} = \frac{K_D}{K_P}$$

$$= \frac{0.055s}{1} = 0.055s = 55ms$$



Gambar 4. 35 T_v Grafik Kontroler PD (2)

5.1.1.8 Kontroler PID

Sinyal input (w) : 10V

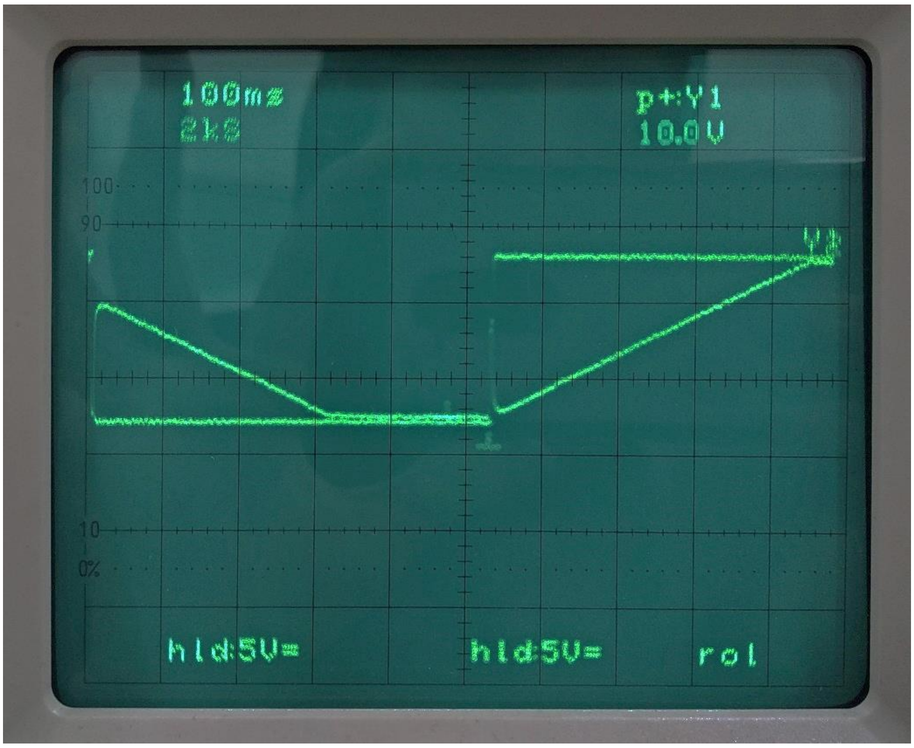
Waveform : Step

f : 1 Hz

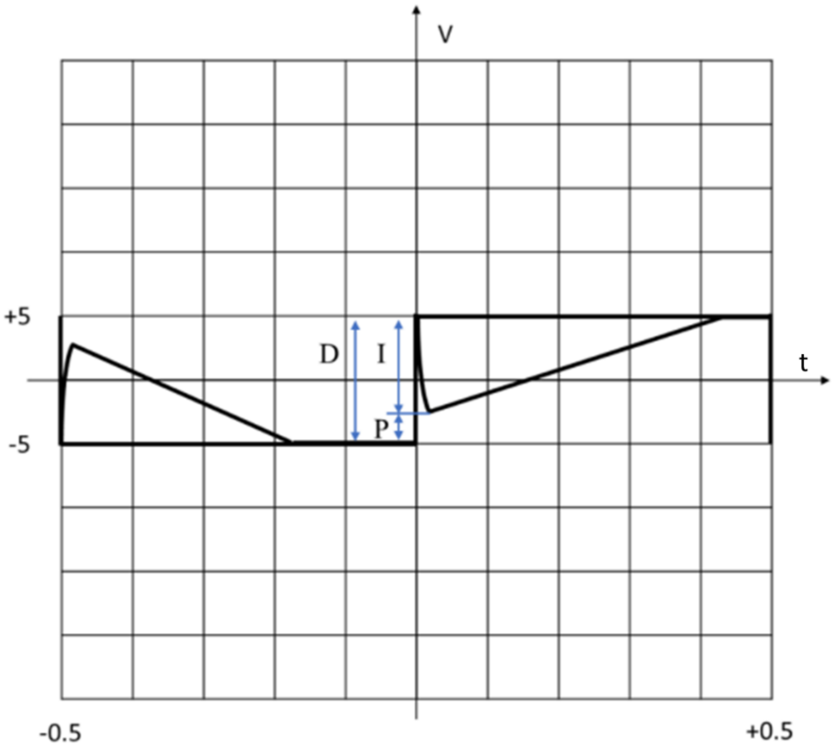
K_P : 0.5

K_D : 25 ms

K_I : $25\frac{1}{s}$



Gambar 4. 36 Osiloskop Kontroler PID



Gambar 4. 37 Plot Diagram Kontroler PID

4.4.3 Analisa Data Hasil Percobaan

1. Mode kontrol D memiliki karakteristik respon yang sangat cepat. Pada sinyal input berbentuk step (square), keluaran yang dihasilkan berupa impuls sedangkan jika sinyal masukan berupa ramp (triangle) maka hasil keluarannya justru

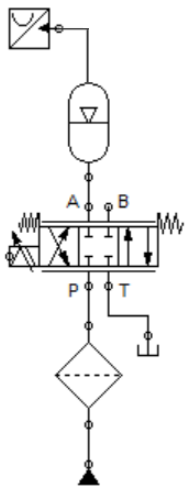
merupakan fungsi step yang besar magnitudnya sangat dipengaruhi oleh kecepatan naik dari fungsi ramp dan faktor konstanta diferensialnya K_D. Pada transition function (step change), kontroler D menunjukkan respon yang sangat cepat namun tidak dapat memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya karena setelah impuls terjadi, kontroler D kembali ke keadaan semula. Oleh karena itu, kontroler diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain dalam sebuah sistem. Kerja kontroler diferensial hanyalah efektif pada lingkup yang sempit, yaitu pada periode peralihan.

2. Salah satu karekteristik kontroler PD adalah nilai T_v. T_v merupakan perbedaan waktu untuk mencapai keadaan *steady state* antara kontroler P dan kontroler PD. Hal ini menunjukkan bahwa kontroler PD memiliki respon yang lebih cepat daripada kontroler P. Nilai T_v dapat dicari menggunakan rumus atau menganalisa ramp response. Perbedaan nilai pada koefisian baik kontroler P dan kontroler D yang digunakan, dapat memengaruhi nilai T_v. Dengan nilai K_P 0.5 dan K_D 20, jika kedua mode digabungkan (PD) maka menghasilkan *settling time* 40ms lebih cepat dariapada mode P saja (K_P 0.5).
3. Kontroler PID merupakan gabungan dari Kontroler Proporsional P, Integral I, dan Differensial D. Pada transition function yang dihasilkan dari kontroler PID, masing-masing elemen memiliki sifat yang ditonjolkan. Elemen D terlihat pada awal respon yang ditandai dengan lonjakan tinggi. Elemen D memiliki karakteristik pada laju atau kecepatan respon ketika sinyal input berubah. Elemen P yang memiliki sifat proporsional, menutupi kelemahan elemen D yang tidak bisa mengurangi *error* dan menciptakan perubahan awal yang besar. Selanjutnya elemen I memiliki tugas akhir untuk memastikan tidak ada offset dengan *error* bernilai 0.

4.5 Percobaan 10 Pressure Roller of a Rolling Machine

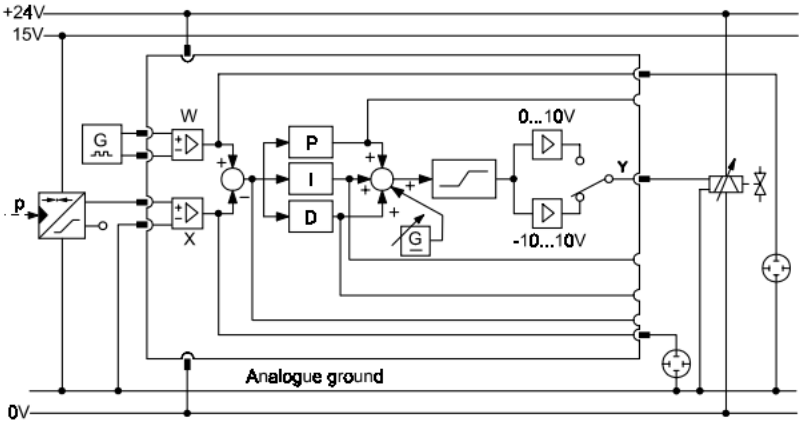
Pressure Roller of a Rolling Machine merupakan mesin rolling yang berfungsi untuk mengurangi ketebalan dari lembaran logam. Mesin ini memiliki dua roller dimana salah satunya menjadi bantalan dan yang lainnya memberikan tekanan konstan dengan sistem hidrolik *closed loop*. Sebagai kontroler, ketiga mode kontrol pada PID*Controller Card* dapat digunakan pada tingkat optimalnya. Terdapat beberapa cara untuk menentukan parameter mode kontrol PID yang digunakan, yaitu di antaranya adalah dengan metode matematik, standard, dan empiris. Pada percobaan ini, analisa diterapkan kepada metode standard yaitu Ziegler-Nichols dan membandingkannya terhadap metode empiris.

4.5.1 Blok Diagram

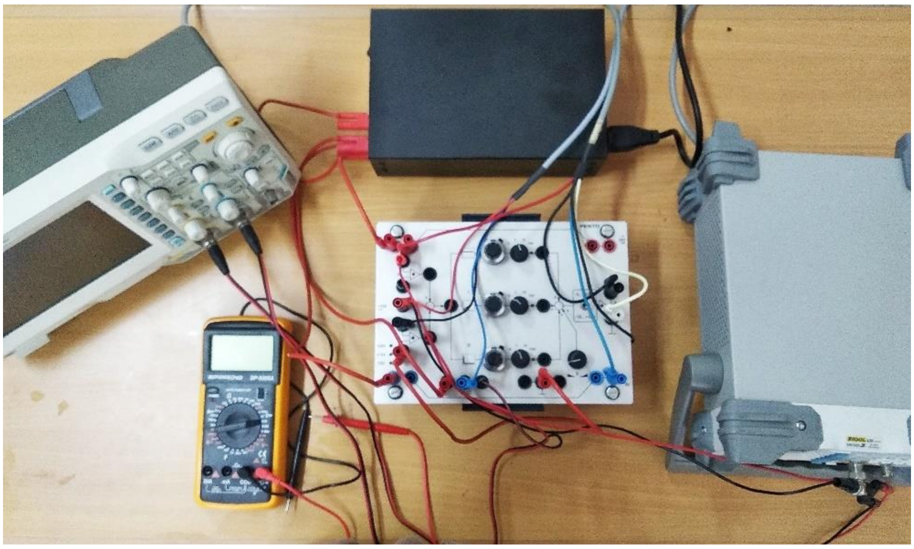


Gambar 4. 38 Sirkuit hidrolik Percobaan 10

Gambar 4. 39 Rangkaian hidrolik Percobaan 10



Gambar 4. 40 Sirkuit listrik Percobaan 10



Gambar 4. 41 Rangkaian listrik Percobaan 10

Berikut daftar komponen listrik dan hidrolik yang digunakan :

Tabel 4. 11 Daftar Komponen Percobaan 10

No	Jumlah	Nama Komponen
1	1	Power Pack
2	1	Pressure Filter
3	1	4/3 Way Regulating Valve
4	1	Pressure Sensor
5	1	PID Controller Card
6	1	Digital Multimeter
7	1	Function Generator
8	1	Power Supply
9	1	Osiloskop

Penyusunan sirkuit dilakukan dengan menggabungkan sirkuit listrik dan hidrolik. Susunan pada percobaan ini sama dengan susunan sirkuit pada percobaan

ketiga, namun *variable* dan data yang dicari berbeda. Mode kontrol PID akan disetting sesuai dengan metode Ziegler-Nichols yang memiliki rumus atau ketetapan dalam penentuan parameter setiap mode kontrol. Kemudian, nilai parameter yang telah didapatkan dari perhitungan diaplikasikan pada PID *Controller Card* untuk melihat kinerja sistem melalui osiloskop.

4.5.2 Data Hasil Percobaan

5.1.1.9 Ziegler-Nichols

Dengan pengaturan pada setiap komponen sebagai berikut:

Function Generator :

- Sinyal Input : 3V
- Frekuensi : 5 Hz
- Waveform : Step

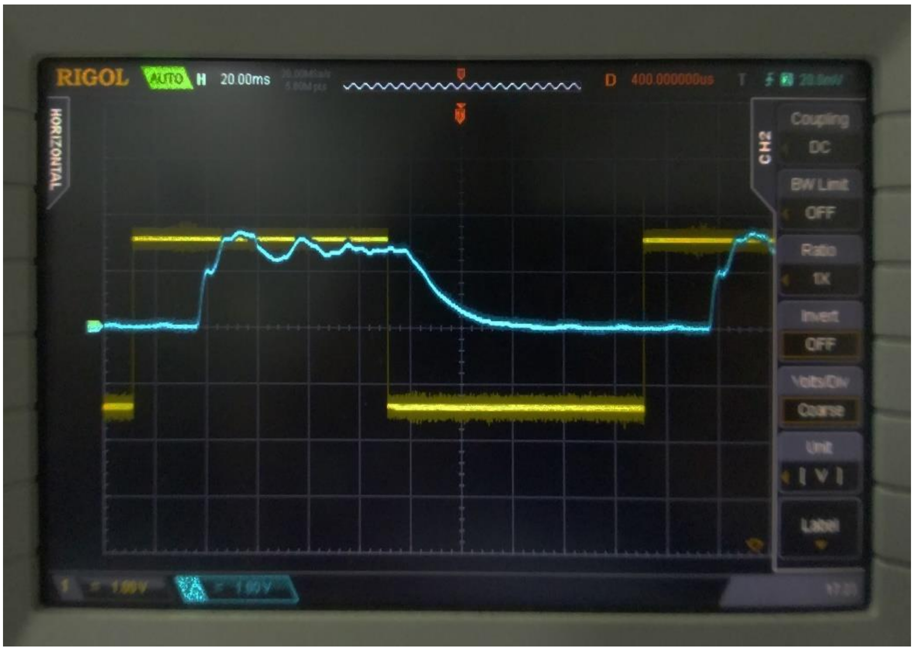
Osiloskop :

- Time/t : 20 ms/Div
- Sinyal w (reference variable) : 1 V/Div
- Sinyal x (controlled variable) : 1V/Div

Maka didapatkan data-data sebagai berikut:

Kp_{crit} = 21

T_{crit} = 32ms



Gambar 4. 42 Keadaan Kp_{crit} dan T_{crit}

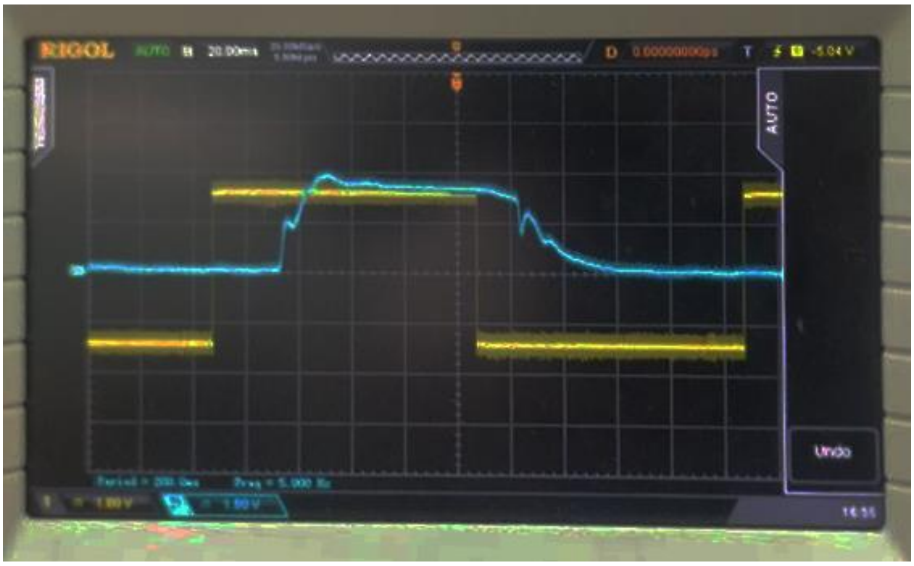
Perhitungan Parameter PID :

1. $K_P = 0.6 \cdot Kp_{crit} = 0.6 \cdot 21 = 12.6$

2. $T_n = 0.5 \cdot T_{crit} = 0.5 \cdot 32ms = 16ms$
3. $T_v = 0.12 \cdot T_{crit} = 0.12 \cdot 32ms = 3.84ms$
4. $K_I = \frac{K_P}{T_n} = \frac{12.6}{0.016s} = 787.5 \frac{1}{s}$
5. $K_D = K_P \cdot T_v = 12.6 \cdot 3.84ms = 48.38ms$

Tabel 4. 12 Data Percobaan 10 – Koefisien Ziegler-Nichols

Koefisien			Kualitas Kontrol			Stabilitas
K_P	K_I ($\frac{1}{s}$)	K_D (ms)	x_m (V)	e_{stat} (V)	T_a (ms)	
12.6	787.5	48.38	0.25	0	60	Stabil



Gambar 4. 43 Kualitas Kontrol Ziegler-Nichols

Tabel 4. 13 Data Percobaan 10 – Koefisien Empiris

Koefisien			Kualitas Kontrol			Stabilitas
K_P	K_I ($\frac{1}{s}$)	K_D (ms)	x_m (V)	e_{stat} (V)	T_a (V)	
10	100	4.6	0.1	0	28	Stabil

Gambar 4. 44 Kualitas Kontrol Empiris

4.5.3 Analisa Data Hasil Percobaan

1. Ziegler-Nichols merupakan perhitungan parameter kontroler sederhana yang hanya membutuhkan Kp_{crit} dan T_{crit} dari eksperimen variasi nilai K_P. Ziegler-Nichols menentapkan persamaan sehingga dapat mengethaui nilai K_P, T_n, T_v, K_I, dan K_D. Nilai parameter ini dapat diuji kualitas kontrol dengan melakukan analisa pada *overshoot*, sistem deviasi *steady state*, *settling time*, dan osilasi. Pada percobaan perhitungan Ziegler-Nichols di atas, parameter mode kontrol yang didapatkan untuk kontroler proporsional adalah 12.6, kontroler integral 787.5, dan kontroler derivative 48.38. Untuk nilai integral-action dan drivative action, didapatkan masing-masing yaitu 16 ms dan 3.84 ms. Dengan parameter mode kontrol tersebut, sistem menghasilkan keadaan yang stabil dan tidak terjadi osilasi dengan besar *overshoot* 0.25V, *error steady state* 0 V, dan time settling 60ms. Hal ini menunjukkan bahwa metode Ziegler-Nichols dapat digunakan untuk menentukan parameter koefisien pada kontroler sehingga menghasilkan sistem yang stabil.
2. Empiris merupakan data yang didapatkan dengan melakukan percobaan yang murni berbasis pada referensi perseorangan (*user's interpretation*). Metode empiris dilakukan dengan mengatur koefisien kontroler secara manual hingga mendapat keadaan yang stabil. Metode empiris yang dilakukan di atas menghasilkan sistem yang stabil dengan nilai setiap koefisien mode kontrol sebagai berikut: proporsional 10, integral 100, dan derivative 4.6. Parameter kontroler tersebut menghasilkan kualitas kontrol yang stabil dengan *overshoot* 0.1V , *error steady state* 0V, dan *settling time* 28ms. Nilai-nilai tersebut dapat berubah sewaktu-waktu dan tidak tentu apakah menghasilkan kualitas kontrol di atas nilai tersebut atau di bawahnya karena lama waktu, hasil kualitas kontrol, serta kesulitan saat menggunakan metode ini bergantung kepada orang yang mengoperasikan sehingga jika berbeda user maka juga berbeda pula hasilnya.
3. Dengan sinyal input yang sama, kedua kualitas kontrol yang dihasilkan dari metode Ziegler-Nichols dan metode empiris memiliki sistem yang stabil. Data yang sangat mencolok adalah nilai K_I yang memiliki perbedaan sangat besar. Sedangkan K_P dan K_D memiliki selisih kurang dari 100. Kedua metode tersebut menghasilkan sistem yang *steady state* dengan *zero error*. Metode empiris

memiliki *settling time* yang lebih cepat dan *overshoot* rendah daripada Metode Ziegler-Nichols. Pada nilai setteling time, metode empiris memiliki waktu 32 ms lebih cepat daripada metode Ziegler-Nichols sehingga jika dalam sistem terdapat *error* maka metode empiris akan merespon lebih dulu untuk mengkoreksi dan menghasilkan sistem optimal. Sedangkan nilai *overshoot* di awal memiliki indikasi bahwa pada metode Ziegler-Nichols, sistem lebih lama untuk beradaptasi dengan perubahan input sehingga menimbulkan sedikit noise walaupun masih dalam kategori stabil karena menghasilkan sistem yang *steady state*. Data ini menunjukkan bahwa metode empiris memiliki kualitas kontrol lebih baik daripada Ziegler-Nichols, namun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan metode Ziegler-Nichols pada perancangan sistem karena metodenya sangat sederhana. Dikarenakan metodenya yang memiliki langkah-langkah paten dengan perhitungan pasti, metode Ziegler-Nichols masih memumpuni untuk digunakan pada mesin-mesin industri seperti *pressure roller of a rolling machine* sehingga mendapatkan kualitas kontrol yang optimal. Metode Ziegler-Nichols dapat mengurangi lama waktu penyetalan dan meminimalisasi *losses time* dan barang produksi *reject* pada suatu proses produksi yang disebabkan oleh operator yang belum mempunyai pengalaman atau keahlian dalam penyetelan manual seperti metode empiris.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dari kelima percobaan dengan menggunakan sistem hidrolik *pressure closed loop*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Katup (servo) merupakan komponen yang menerima sinyal input berupa tegangan dan menkonversi menjadi tekanan. Katup yang digunakan pada percobaan FESTO TP 511 memiliki kinerja yang masih dalam kategori baik untuk digunakan sebagai *final control element*, dengan karakteristik:
    a. Nilai hysteresis 0.8% (kurang dari 1%)
    b. Nilai *pressure gain* $\frac{15V}{0.1V}$
    c. Range sinyal *pressure* gain 2.1% (kurang dari 5%)
    d. *Negatif overlap* (Menurut spesifikasi : *Zero overlap*)
    e. Offset 0.2 V

    Zero overlap dapat meningkatkan akurasi pada sistem. Oleh karena alasan itulah, kebanyakan katup diproduksi dengan spesifikasi *zero overlap*. Pada mesin *forging* atau *press*, dibutuhkan tekanan konstan agar hasil produksi memiliki bentuk dan ukuran yang sama sehingga katup dengan *zero overlap* lebih memiliki keuntungan daripada *negative overlap*. Namun, untuk mesin yang membutuhkan respon sangat cepat dengan perubahan sinyal input setiap saat, maka katup dengan *negative overlap* dapat digunakan walaupun dengan kemungkinan terjadinya kebocoran.
2. PID *Controller Card* memilik prosentase *error* sebesar 1.6% yang hanya memengaruhi sebagian kecil pemrosesan suatu sistem. Batas *error* maksimal yang dianjurkan pada suatu komponen adalah sebesar 5% sehingga nilai di bawah itu dapat menunjukkan kinerja komponen yang masih baik. PID *Controller Card* tersebut dapat mengurangi hingga meniadakan *error* dengan prosentase kinerja sebesar 98.4% pada *thread rolling machine* sehingga menjaga tekanan agar konstan untuk membuat ulir dengan diameter yang sama pada semua sekrup. Jika suatu mesin membutuhkan jenis kontroler dengan akurasi 100% atau memiliki prosentase *error* kurang dari 1.6% maka jenis kontroler PID ini tidak dianjurkan untuk digunakan.
3. Pada sinyal input 2V, K_P bernilai 5 memiliki kualitas kontrol yang optimal untuk digunakan pada sistem dengan karakteristik sebagai berikut:
    a. *Overshoot* 0V
    b. Sistem deviasi *steady state* 0V
    c. *Settling time* 44ms
    d. Tidak ada osilasi

    Limit stabilitas pada sinyal input 2V menunjukkan nilai $K_P$crit 19. Hal ini sejalan dengan data di atas yang menghasilkan sistem optimal dengan nilai K_P 5. Pengaturan nilai koefisien merupakan hal sangat penting. Pada Clamping Device, sistem harus menghasilkan kualitas yang optimal sehingga tekanan yang diaplikasikan dapat sesuai dengan sinyal input. Oleh karena itu, nilai K_P yang digunakan harus di bawah nilai $K_P$crit dan memiliki *zero overshoot* serta *zero error*.

4. Karakteristik mode kontrol D, PD, dan PID didapatkan dengan menganalisa bentuk gelombang yang dihasilkan sistem pada osiloskop.
    a. Kontroler D menunjukkan respon yang sangat cepat pada perubahan nilai input namun tidak dapat memperkecil *error* pada keadaan *steady state* sehingga kontroler D tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lain pada sebuah sistem.
    b. Kontroler PD memiliki respon yang lebih cepat daripada kontroler P dan dapat menutupi kelemahan kontroler D. Dengan nilai K_P 0.5 dan K_D 20, jika kedua mode digabungkan (PD) maka menghasilkan *settling time* 40ms lebih cepat dariapada mode P saja (K_P 0.5).
    c. Kontroler PID memiliki gabungan tiga elemen kontrol dengan fungsi untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan offset dan menghasilkan perubahan awal yang besar.

   Mode kontrol D memberikan keuntungan yang besar dalam hal waktu daripada mode lain. *Error* pada sistem dapat terjadi karena interference yang disebabkan oleh gesekan, kebocoran, atau keausan sehingga kontroler harus bekerja untuk mengkoreksi *error* yang terjadi. Pada proses koreksi ini, kontroler D memainkan peran penting untuk membuat sistem dengan cepat merespon perubahan yang terjadi. Hal ini memengaruhi kuantitas penurunan pada barang reject hasil produksi karena dengan cepat mesin dapat kembali beroperasi secara optimal.
5. Dengan rangkaian yang sama, didapatkan koefisien mode kontrol:
    a. Metode Ziegler-Nichols:

       K_P = 12.6
       K_I = 787.5 $\frac{1}{s}$
       K_D = 48.38 ms

       Kualitas Kontrol:
        a) *Overshoot* 0.25V
        b) Sistem deviasi *steady state* 0V
        c) *Settling time* 60ms
        d) *Overshoot* di awal
    b. Metode Empiris

       K_P = 10
       K_I = 100 $\frac{1}{s}$
       K_D = 4.6 ms

       Kualitas Kontrol:
        a) *Overshoot* 0.1V
        b) Sistem deviasi *steady state* 0V
        c) *Settling time* 28ms
        d) Tidak ada osilasi

   Metode Ziegler-Nichols memiliki kualitas kontrol di bawah metode empiris namun masih dalam kategori stabil. Metode Ziegler-Nichols menggunakan perhitungan sehingga tidak membutuhkan waktu lama untuk mendapatkan koefisien mode kontrol, sedangkan metode empiris dilakukan dengan melakukan percobaan beberapa kali. Sistem kontrol pada mesin dimaksudkan untuk mendapatkan proses yang efisien dan akurat. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan parameter dengan memperhatikan beberapa hal seperti data di atas. Hal ini jarang diperhatikan oleh beberapa operator, karena realita pada

lapangan adalah kualitas kontrol ditentukan dengan melihat kualitas produksi secara langsung dari mesin tersebut sehingga diperlukan *trial* beberapa kali.

5.2 Saran

Dalam pelaksanaan Proyek Akhir ini, penulis menyadari beberapa hal yang mungkin bisa menjadi masukan maupun saran untuk penelitian lebih lanjut, saran tersebut adalah:

1. Beberapa komponen memiliki dua sambungan yaitu ke rangkaian listrik dan rangkaian hidrolik. Oleh karena itu, harus diperhatikan ketika penyusunan sirkuit semua arus listrik harus diputus dan rangkaian listrik tidak boleh terkena minyak hidrolik.
2. Beberapa komponen memerlukan penggantian atau perbaikan seperti *pressure gauge* dan *branch tee* karena mengalami kebocoran pada bagian *coupling.*

DAFTAR PUSTAKA

1. Scolz, D dan A. Zimmermann (2000) "*Closed loop Hydraulics TP 511.*" Festo Didactid GMBh Co. Denkendorf.

2. Esposito, Anthony. (2014). "*Fluid power with Applications, Seventh Edition.*" Prentice Hall.

3. D Johnson, Curtis. (1999). "*Process Control Instrumentation Technology*." Prentice Hall.

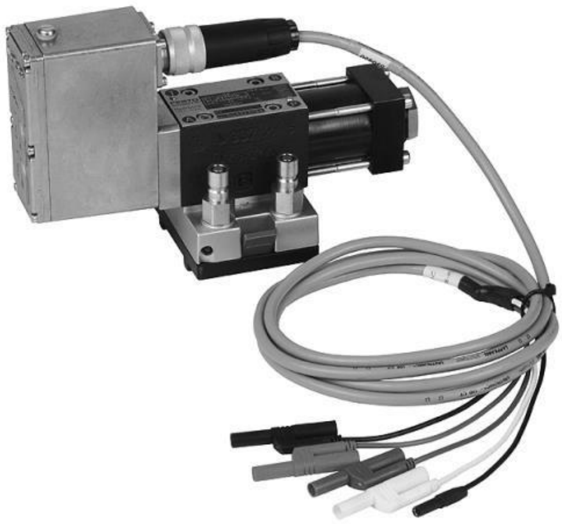
4. Asad, Hafidh dan Adhi Sampurna. (2009). *"Analisa Karakteristik Sistem Proporsional Hidrolik Menggunakan Komponen Festo Didatic TP 701."*, Program D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

5. Watton, John. (2009). "*Electrohydraulic Control Systems: Principles Of Operation, Circuit Analysis & Design, 1st Edition*". Bookboon.

6. Watton, John. (1991). "*Fundamentals of Fluid Power Control*". Cambridge University Press.

7. Bolton, William. (2006). "*Control Systems".* Elsevier Ltd.

LAMPIRAN – 4/3 Way Regulating Valve



Valve plug	Designation		Plug colour
A	Supply +	24 V	red
B	Supply –	0 V	blue
C			
D	Setpoint value +	0 – ±10 V	yellow
E	Setpoint value –	0 – ±10 V	green
F	Signal of control piston	4 – 20 mA	(coupling)

Hydraulic, Electrical	
Valve design	spool valve, single-stage with control sleeve
Actuation	direct via permanent magnet linear motor
Port pattern DIN 24340/ISO 4401/Cetop	Form A6/Cetop 3
Port diameter P, A, B, T	7.9 mm
Control oil supply	none
Leakage oil connection	blocked

Hydraulic, Electrical	
Mounting position	any
Sealing material	NBR
Protection class DIN 40050, with assembled mating plug	IP 65
Nominal flow rate q_N	5 l/min at Δp_N = 35 bar (Tolerance ±10 %) 2 l/min at Δp_N = 5 bar (Tolerance ±10 %)
Leakage oil flow q_L	0.15 l/min at 140 bar
Max. operating pressure p_{max}, static	connections P, A, B: 350 bar connection T: 50 bar
Extension plug DIN 43563	6 + PE
Op. voltage supply of integrated electronics UB	+24 V DC
Op. voltage tolerance range min UB_{min}	+22 V DC
Op. voltage max UB_{max}	+28 V DC
Nominal current at UB = +24 V DC, Min. current IB_{min} at setpoint value zero	0.15 A
Max. current IB_{max} at setpoint value and 140 bar	1.2 A
Setpoint value signal	±10 V DC
Actual value signal	+4 – +20 mA
Relative duty cycle	100 % ED
Manipulating time signal step 0 – 100 %	< 12 ms
Inversion range	< 0,1 %
Hysteresis at 140 bar	< 0,2 %
Zero shift at ΔT = 55 K	< 1.5 %
Operating fluid DIN 51524	Mineral-based hydraulic oil
Oil temperature range	-20 – +80 °C
viscosity	recommended: 15 – 45 mm²/s permissible: 5 – 400 mm²/s
grade of filtration	recommended: x < 6 (6 µm absolut) permissible: x < 10 (10 µm absolut)
Contamination category	to NAS 1638 minimum: 6 to ISO 4406 minimum: 15/11
System filter	High pressure main flow filter, without bypass, but with contamination indicator

LAMPIRAN – PID Controller Card

Electrical	
Power supply	24 V DC +/-10 %
Overmodulation indicator	-10 > Ue > +10 V
Input voltage range	-13 V – +13 V
Position coefficient Kx	0 – 10
Speed coefficient K $\dot{x}$	0 – 100 ms
Acceleration coefficient K $\ddot{x}$	0 – 10 ms²
Overall gain P	0 – 1000
Output voltage limitation	[0 V – +10 V] [-10 V – +10 V]
Correcting variable offset	5 V ±3,5 V bei [0 V – +10 V] 0 V ±7 V bei [-10 V – +10 V]
Connection	for 4 mm safety connector plug
Electromagnetic compatibility	CE
Emitted interference	tested to EN 500 81-1
Noise immunity	tested to EN 500 81-1

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Jombang, 25 Maret 2000 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis berdomisili Sidoarjo dan memiliki hobi membaca. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN SAMBIBULU, SMPN 2 TAMAN Sidoarjo, dan SMAN 2 SIDOARJO. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2018, penulis melanjutkan Pendidikan di Perguruan Tinggi. Penulis mengikuti banyak seleksi dan akhirnya bisa diterima di ITS Progam Studi Teknik Rekaya Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi.

Di Departemen Teknik Mesin Industri, Penulis aktif dalam organisasi Nogogeni (Tim Mobil Riset) sebagai Bendahara dan menjadi asisten laboratorium untuk Lab Metallurgy (3 tahun) dan Lab Pneumatik & Hidrolik (1 tahun). Penulis juga aktif di beberapa pelatihan, diantaranya LKMM Pra-TD 2018, LKMM TD 2019, Basic Media Schooling, dan Pelatihan Dasar Otomotif.