



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KONTROL
MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2
CONTROL RELAY DENGAN BANTUAN
SOFTWARE FLUIDSIM, EWB DAN MATLAB**

**REDDY BERTO ALFIANDO
NRP 2114 105 002**

**Dosen Pembimbing
Ir. Sampurno , MT**

**PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - TM 141585

**DESIGN AND DEVELOPMENT CONTROL OF
PNEUMATIC HOT PRESS MACHINE BASED 2
CONTROL RELAY WITH FLUIDSIM, EWB AND
MATLAB SOFTWARE**

**REDDY BERTO ALFIANDO
NRP 2114 105 002**

**Academic Advisor
Ir. Sampurno , MT.**

**BACHELOR DEGREE PROGRAM
MANUFACTUR LABORATORY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KONTROL MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2 CONTROL RELAY DENGAN BANTUAN SOFTWARE FLUIDSIM, EWB DAN MATLAB

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Reddy Berto Alfiando

NRP : 2114 105 002

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Sampurno, MT
(NIP. 196504041989031002) (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Bustanul Arifim Noer, M.Sc
(NIP. 195904301989031001) (Penguji 1)
3. Dinny Harnany, ST, M.Sc
(NIP. 2100201405001) (Penguji 2)
4. Latifah Nurahmi, ST, M.Sc, Ph.D
(NIP. 210000011) (Penguji 3)

SURABAYA 2016

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN KONTROL MESIN
PRESS PANAS PNEUMATIK BERBASIS 2 CONTROL
RELAY DENGAN BANTUAN SOFTWARE FLUIDSIM,
EWB DAN MATLAB**

Nama Mahasiswa : Reddy Berto Alfiando
NRP : 2114 105 002
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Sampurno , MT

Abstrak

Untuk menghasilkan produk dengan harga murah maka para produsen diharuskan melakukan langkah-langkah efisien, salah satunya membatasi impor. Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang sebuah mesin press panas pneumatik, dimana selama ini kualitas mesin dari industri di Indonesia kualitasnya kurang bagus dibanding dari produk import. Aspek penting pada mesin press panas pneumatik ini adalah mengatur temperatur, pergerakan silinder pneumatik dan holding time sehingga dapat bergerak sesuai yang diinginkan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem kontrol yang handal.

Untuk memudahkan penelitian dalam perencanaan dan pembuatan kontrol mesin press panas pneumatik digunakan bantuan software fluidsim, EWB dan matlab dengan peran masing-masing. Software fluidsim digunakan untuk pengecekan dan simulasi sirkuit elektrik khusus untuk sistem pneumatik. Sementara EWB digunakan untuk pengecekan rangkaian elektrik sistem kontrol temperatur mesin press panas ini. Sedangkan matlab akan digunakan untuk melakukan perancangan sistem kontrol temperatur. Dengan input berupa time domain equation maka akan diperoleh kestabilan sistem kontrol temperatur mesin press panas pneumatik ini. Selain itu akan dilakukan perhitungan verifikasi dengan analisa kestabilan routh-hurwitz dan root locus untuk memastikan bahwa sistem kontrol yang dirancang benar-benar stabil.

Hasil dari penelitian ini didapatkan wiring diagram dari sirkuit elektrik sistem pneumatik dan sistem kontrol temperatur mesin press panas pneumatik ini. Serta didapatkan time response dan frekuensi response seperti overshoot sebesar 17.8%, peaktime 26.4s, settling time 85.3s dan rise time 11.5s. Dari semua kriteria evaluasi, menunjukkan sistem kontrol temperatur mempunyai kualitas yang baik. Pada metode routh-hurwitz tampak tidak terjadi perubahan tanda pada kolom pertama dan pada metode root locus diperoleh akar-akar karakteristik yang semua bernilai negatif. Dari semua kriteria kestabilan dapat disimpulkan bahwa sistem stabil.

Kata kunci: Pneumatik, Relay, Fluidsim, EWB, Matlab

DESIGN AND DEVELOPMENT CONTROL OF PNEUMATIC HOT PRESS MACHINE BASED 2 CONTROL RELAY WITH FLUIDSIM, EWB AND MATLAB SOFTWARE

Name of Student : Reddy Berto Alfiando
NRP : 2111 105 002
Department : Mechanical Engineering
Counselor Lecturer : Ir. Sampurno , MT.

Abstract

To produce products with a cheap price then the producer is required to perform efficient steps, one of which restrict the import. In this final project will be designed a hot press pneumatic machine, which all this time the quality machine in Indonesia is less good than the quality of imported products. The important aspect in this pneumatic hot press machine is adjusting the temperature, the movement of the cylinder penumatik and holding time so it can move as desired. Therefore, we need a reliable control system.

To facilitate research in the planning and manufacturing of pneumatic hot press machine control using software fluidsims, EWB, and matlab with their respective roles. Software fluidsims is used for checking and simulating electrical circuits specific to the pneumatic system. While EWB is used for checking the electrical circuit temperature control system this hot press machine. While matlab is used to perform control system design of temperature. With the input of the time domain equation, it will obtain the stability of this pneumatic hot press machine temperature system. Additionally, verification will be calculated by Routh-Hurwitz stability analysis and root locus method to ensure this the control system is designed completely stable.

Results of this research got wiring diagram of the electric circuit pneumatic system and temperature control system of this

pneumatic hot press machine. And also got time response and frequency response as overshoot by 17.8%, peakttime by 26.4s, settling time by 85.3s and rise time by 11.5s. Of all the evaluation criteria, show temperature control system has a good quality. In the method of Routh-Hurwitz seemed to have been no changes mark in the first column and root locus method is obtained roots of the characteristics that all negative. Of all the stability criteria can be concluded that the system is stable.

Key words: Pneumatic, Relay, Fluidsim, EWB, Matlab.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1Latar Belakang.	1
1.2Rumusan Masalah.	2
1.3Batasan Masalah.....	2
1.4Tujuan Penelitian.....	3
1.5Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1Mesin Press Panas.	5
2.2Sistem Pneumatik	6
2.2.1 Kompresor Udara	7
2.2.2 Filter Udara	7
2.2.3 Valve Pengurang Udara	8
2.2.4 Lubricator Udara	8
2.2.5 Valve Pengontrol Arah.....	8
2.2.6 Silunder Pneumatik	8
2.3Solenoid.....	10
2.4Relay.....	10
2.4.1 Dasar Relay	10
2.4.2 Gangguan Utama Pada Relay.....	12
2.5 Sensor	12
2.5.1 Limit Switch.....	12
2.5.2 Resistance Temperatur Detectors (RTD)	13
2.6 Pecatu Daya.....	15
2.7Analog Signal Conditioning	17

2.7.1 Bridge Circuit (rangkaiian jembatan).....	17
2.7.2 Operatinal Amplifier	18
2.7.2.1 Inverting Amplifier.....	19
2.7.2.2Differential Amplifier	19
2.8 Response Sistem.....	20
2.8.1 Transient Response	20
2.8.2 Steady State Responese.....	21
2.8.3 Steady State Error	22
2.9 Analisa Kestabilan.....	22
2.9.1 Analisa Stabilitas Routh Hurwitz.....	23
2.9.2 Analisa Bode Plot.....	25
BAB III METODOLOGI	27
3.1 Tahap Pengumpulan Data.	27
3.2 Perencanaan Cara Kerja Mesin Press Panas	27
3.3 Analisa Sistem Kontrol Mesin Press Panas.....	29
BAB IV PERENCANAAN DAN ANALISA	31
4.1 Perencanaan Cara Kerja Pneumatik.	31
4.2Rangkaian Signal Conditioning Temperature Kontrol.....	33
4.2.1 Catu Daya.....	34
4.2.2 Jembatan Wheatstone.....	35
4.2.3 Differential Amplifier	36
4.2.4 Potensiometer.....	37
4.2.5 Komparator	38
4.3 Permodelan Temperature Kontrol	39
4.4 Model Simulink Pengontrolan Temperature	40
4.4.1 Koefisien Diagram Blok	40
4.4.1.1Sistem Kontrol Temperatur	40
4.4.1.2Cetakan	42
4.4.1.3 RTD	43
4.4.2 Hasil Simulink Matlab	43
4.5 Analisa Controlability dan Observability Menggunakan State Space Equation.....	47
4.6 Analisa Kestabilan Sistem dengan Metode Routh Hurwirth ..	49

4.7 Analisa Kestabilan Sistem dengan Metode Routh Hurwirth .. 50
4.8 Analisa Kestabilan Sistem Metode Nyquist dengan Bode Plot 51

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 53
5.1 Kesimpulan..... 53
5.2 Saran..... 54

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Road Map Mesin Press Panas Pneumatik.....	2
Gambar 2.1	Contoh Sederhana Rangkaian Sistem Pneumatik	7
Gambar 2.2	Silinder Pneumatik.....	9
Gambar 2.3	Simbol Directional Kontrol Valve Solenoid.....	10
Gambar 2.4	Prinsip Kerja Relay	11
Gambar 2.5	Bentuk fisik relay.....	12
Gambar 2.6	Konsep mekanis limit switch	13
Gambar 2.7	Signal conditioning RTD	15
Gambar 2.8	Simbol transformator daya.....	16
Gambar 2.9	Konfigurasi Diode.....	16
Gambar 2.10	Kapasitor filter	17
Gambar 2.11	Wheatstone bridge	18
Gambar 2.12	Operational amplifier	18
Gambar 2.13	Inverting amplifier	19
Gambar 2.14	Differential amplifier	19
Gambar 2.15	Transient Response	20
Gambar 2.16	Transient Response Sistem Terhadap Pemberian Step Signal.....	21
Gambar 2.17	Poles Berada Pada Negatif Real.....	25
Gambar 2.18	Poles Berada Pada Origin	25
Gambar 2.19	Poles Bernilai Negatif dan Kompleks	26
Gambar 2.20	Poles Bernilai Negatif Real Kembar	26
Gambar 2.21	Poles Bernilai Positif.....	26
Gambar 3.1	Diagram alir proses perencanaan mesin press panas	29
Gambar 3.2	Diagram alir dari simulasi Matlab	30
Gambar 4.1	Ladder Diagram Sistem Pneumatik	32
Gambar 4.2	Signal Conditioning Temperature Kontrol.....	33
Gambar 4.3	Catu daya	35
Gambar 4.4	Jembatan Wheatstone.....	36
Gambar 4.5	Differential amplifier	37
Gambar 4.6	Potensiometer.....	37
Gambar 4.7	Komparator dengan Histerisis.....	38
Gambar 4.8	Permodelan Temperatur Kontrol	39

Gambar 4.9	Diagram Blok Kontrol Temperatur.....	40
Gambar 4.10	Transfer Function Metode System Identification ..	41
Gambar 4.11	Validasi model matematis sistem.....	42
Gambar 4.12	Model Simulink Matlab	43
Gambar 4.13	Hasil Simulasi Step Response Matlab	44
Gambar 4.14	Hasil Peak Time dan Overshoot dari Grafik Step Response	44
Gambar 4.15	Hasil Settling Time dari Grafik Step Response	46
Gambar 4.16	Hasil Rise Time dari Grafik Step Response.....	46
Gambar 4.17	Hasil Controlability dan Observability Menggunakan State Space	48
Gambar 4.18	Hasil dari Analisa Routh Hurwitch	50
Gambar 4.19	Hasil dari Analisa Root Locus	50
Gambar 4.20	Hasil Bode Plot	51
Gambar 4.21	Hasil Diagram Nyquist	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan perhitungan temperature kontrol teoritis dengan software.....	39
---	----

BAB I

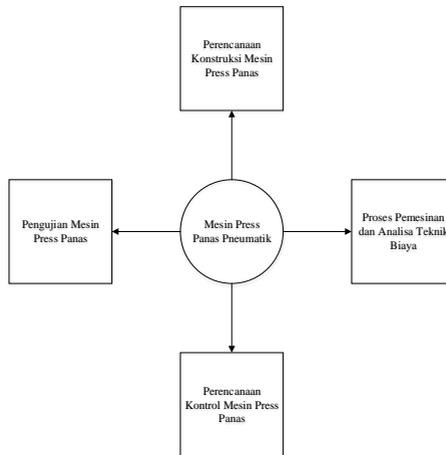
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri yang sangat pesat dapat memberikan suatu tempat yang lebih baik untuk mengembangkannya, menguasai teknologi dan memproduksinya. Peran industri memang sangat besar sekali dalam sektor perdagangan karena bisa memberikan efek buat kehidupan yang berfungsi terhadap kesejahteraan masyarakat. Hal ini disebabkan karena industri perdagangan mengandung keterkaitan dengan industri dasar, industri kecil dan industri aneka yang pada dasarnya mencakup segala aspek teknologi bahan, perancangan dan proses. Guna mempercepat proses produksinya dan merubah metode proses menjadi lebih cepat proses pembuatan agar bisa memenuhi kebutuhan pasar.

Salah satu alat yang digunakan secara otomatis dengan perlakuan konstan adalah dengan membuat mesin *press* panas yang berbasis relay, karena itu membutuhkan ketepatan waktu untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi serta murah biaya pembuatannya.

Dengan majunya perkembangan teknologi saat ini maka diperlakukan usaha untuk mengembangkan industri tersebut, salah satunya dengan membuat mesin *press* panas pneumatik yang berbasis relay. Bila produksi tersebut dapat dilakukan di dalam negeri maka dapat dipastikan biaya produksi akan lebih rendah sehingga dapat diperoleh keuntungan yang lebih besar. Pembagian tugas pembuatan mesin ini dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Road Map Mesin *Press* Panas Pneumatik

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merencanakan dan membuat sistem kontrol mesin *press* panas berbasis *control* relay yang sederhana?
2. Bagaimana menganalisa sistem kontrol mesin *press* panas berbasis *control* relay yang dirancang dan dibuat?

1.3. Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka perlu diberikan beberapa batasan dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan tidak meliputi aspek finansial.
2. Pembahasan tidak meliputi proses permesinan pembuatan mesin.
3. Pembahasan tidak mencakup desain konstruksi mesin *press* panas.
4. Panas hanya berpindah satu arah.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merencanakan dan membuat sistem kontrol mesin *press* panas berbasis *control* relay yang sederhana.
2. Menganalisa sistem kontrol mesin *press* panas berbasis *control* relay yang dirancang dan dibuat.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kesempatan kepada industri kecil untuk dapat bersaing dengan produk yang ada di pasaran.
2. Dapat menghasilkan produk yang mempunyai kualitas sama baiknya dengan produk luar negeri.
3. Dapat menekan biaya produksi seminimal mungkin.
4. Memberikan alternative pada pasar selain produk yang di import.
5. Sebagai studi perbandingan di kalangan industri manufaktur.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pembuatan alat ini memakai referensi yang diambil untuk mengetahui kekurangan dari alat sebelumnya yang sudah ada dan untuk mengkaji hasil yang diperoleh.

Menurut Nur Nugroho Irianto dalam buku tugas akhir yang dibuat pada tahun 2010, menganalisa proses pemesinan pada mesin *press* panas berbasis PLC. Mesin ini menggunakan PLC dan dapat menekan dengan tekanan maksimum adalah 8 bar dengan panas pemanas maksimum adalah 250°C. Dalam penelitiannya mesin ini digunakan untuk mengepress daun tiruan dan juga PLC yang digunakan masih cukup mahal yang seharusnya bisa disederhanakan menggunakan kontrol relay.

2.1 Mesin Press Panas

Proses *press* panas merupakan proses pembentukan bahan berupa alur-alur yang disiapkan di matras pada mesin, dengan adanya tegangan dan tekanan yang terjadi pada posisi yang ditentukan maka akan terjadi suatu bentuk yang mengalami proses *press* panas.

Proses *press* panas dilakukan dengan meletakkan bahan di atas cetakan kemudian dilakukan penekanan oleh matrasnya. Ketika matras tersebut menekan bahan maka pemanasan akan dilakukan untuk pembentukannya. Adanya tekanan dan tegangan akan menyebabkan bentuk sesuai dengan yang diinginkan dengan bentuk cetaknya.

Saat proses berlangsung mengakibatkan bahan tersebut mengalami pemanasan atau perpindahan panas. Pemberian panas juga waktu penekanan harus disesuaikan sehingga pembentukan dapat dilalukan dengan baik jika pengatur penekanan atau pemberian temperatur panas salah akibatnya bahan tersebut tidak bisa terbentuk melainkan bisa terjadi pembakaran didalamnya.

Bentuk cetakan dan matrasnya sangat penting untuk mengatur bentuk produk. Seluruh permukaan matras dan cetakan

harus terbebas dari kotoran dan permukaannya harus benar-benar halus. Oleh karena itu kepresisian perkakas dan toleransinya sangat diperlukan pada cetakan dan matrasnya (Irianto 2010).

2.2 Sistem Pneumatik

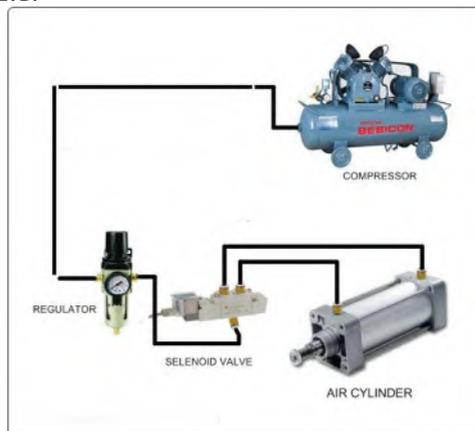
Sistem pneumatik digunakan untuk tujuan otomatisasi dan penghematan tenaga karena kelebihanannya dalam konstruksi yang relatif sederhana, murah, dan kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan dibandingkan hidrolis minyak, dalam mekanik dan peralatan listrik (Esposito 2016). Adapun karakteristik sistem pneumatik adalah:

- Sirkuit pneumatik umumnya hanya cocok untuk beban yang relatif ringan (*light duty*).
- Pneumatik tidak efektif dalam pengaturan kecepatan dan displacement dari aktuatur karena sifat fluida kerjanya yang *compressible*.
- Udara sebagai fluida kerja memiliki tahanan kecil pada alirannya jika dibandingkan dengan hidrolis minyak karena viskositasnya rendah, sehingga respon yang dihasilkan lebih cepat dibanding hidrolis.
- Udara bertekanan dialirkan melalui pipa-pipa dan kecepatannya dapat diatur oleh pengontrol kecepatan, serta gaya yang dihasilkan dapat diatur dengan *Valve* pengatur tekanan.
- Jika sirkuit pneumatik dirancang dengan baik maka masalah kebocoran lebih mudah diatasi dibanding dengan sistem hidrolis yang sensitif terhadap kebocoran minyak dan kontaminasi.
- Udara bertekanan dapat diperoleh dengan mudah di banyak tempat. Sehingga penggunaan pipa pengatur lebih sedikit dibanding dengan sistem hidrolis.
- Sistem pneumatik dapat dijalankan pada temperatur relatif tinggi (sampai 180°) bila peralatan yang digunakan cocok.

Berikut ini adalah alat-alat yang ada didalam rangkaian sistem pneumatik sederhana:

1. Kompresor udara.
2. Filter udara.
3. *Valve* pengurang tekanan.
4. *Lubricator* udara.
5. *Valve* pengontrol arah.
6. Silinder udara (*actuator* pneumatik).

Contoh Sederhana Rangkaian Sistem Pneumatik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh Sederhana Rangkaian Sistem Pneumatik

2.2.1 Kompresor Udara

Kompresor berfungsi sebagai sumber energi pneumatik dengan memproduksi udara bertekanan. Kompresor memakai energi listrik untuk memutar motor yang mengompres udara.

2.2.2 Filter Udara

Filter udara dirancang untuk memutar udara tercemar dengan deflector louver untuk memisahkan debu, *drain* dan uap minyak dengan menggunakan elemen filter, sehingga diperoleh udara bersih yang akan dipakai untuk menggerakkan silinder udara.

2.2.3 Valve Pengurang Udara

Udara bertekanan dari kompresor umumnya diatur pada tekanan lebih tinggi dari tekanan operasi. Jika tekanan langsung masuk ke peralatan pneumatik tanpa mengurangi tekanan, maka udara tersebut akan merusak peralatan pneumatik karena kelebihan tekanan.

2.2.4 Lubricator Udara

Pelumas dimasukkan kedalam udara kompresi untuk mendapat pekerjaan lebih baik atau masa pakai yang lebih panjang bagi peralatan pneumatik yang mempunyai gerakan lancar.

2.2.5 Valve Pengontrol Arah

Bagian ini dipakai dalam sistem kontrol pneumatik dan dirancang untuk mengubah arah *flow* udara atau menghentikan *flow* udara. *Valve* pengontrol udara ini mempunyai banyak jenis dimana masing-masing jenis mempunyai fungsi yang berbeda. *Valve* pengontrol arah ini dapat diklasifikasikan menurut sistem operasinya, antara lain:

1. Sistem solenoid
2. Sistem mekanik
3. Sistem manual

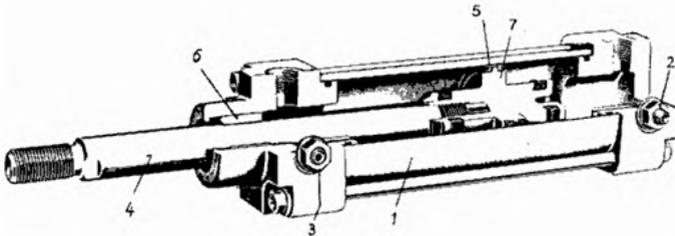
2.2.6 Silinder Pneumatik

Silinder pneumatik ialah alat untuk mengubah tenaga udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor menjadi gerakan lurus ataupun berputar (Buku Petunjuk Teknik Tenaga Fluida Pneumatik", 1992)

Konstruksi dasar silinder pneumatik terdiri dari beberapa bagian, antara lain

1. Tabung pneumatik.
2. Saluran masuk.
3. Saluran keluar.
4. Batang Piston.
5. *Seal*.
6. *Bearing*.
7. Piston.

Atau untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2.

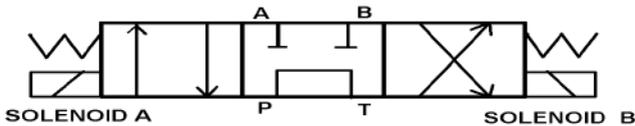


Gambar 2.2 Bagian-bagian Silinder Pneumatik

- **Tabung Pneumatik**
Tabung silinder merupakan dinding silinder dan piston meluncur pada permukaan dalam dinding. Diameter silinder adalah dasar untuk tenaga output nominal silinder dan luas permukaan yang menerima tekanan.
- **Head Cover dan Rod Cover**
Ini adalah bagian untuk menutup ujung-ujung silinder dan mempunyai lubang *exhaust*, struktur *cushion*, dll.
- **Piston**
Piston menerima tekanan udara dan meluncur dalam tabung silinder untuk meneruskan tenaga ke batang piston.
- **Piston Rod**
Piston rod yang dihubungkan ke piston meneruskan tenaga piston kebagian luar silinder.
- **Tie Rod**
Bagian ini adalah bagian untuk mengikat tabung silinder kedua tutup diujung dan *bracket* menjadi satu.
- **Packing dan Gasket**
Packing lebih dikenal dengan sebutan seal, yang digunakan untuk sealing gerakan putar atau gerakan reciprocal (maju mundur). Sedangkan gasket digunakan untuk sealing bagian tidak bergerak.

2.3 Solenoid

Solenoid merupakan aktuator elektrik yang banyak digunakan untuk mengatur buka tutup dari *Valve* pengontrol arah pada pneumatik. Cara kerja solenoid dengan membuat daerah magnetik, yang dihasilkan dengan mengalirkan arus listrik pada koil sehingga inti solenoid akan tertarik. Apabila arus pada koil dihilangkan inti solenoid akan kembali pada posisi semula karena adanya pegas yang menariknya (Esposito 2016). Simbol *directional control Valve* solenoid dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Simbol *Directional Control Valve* Solenoid

2.4 Relay

Relay merupakan komponen elektronik yang berguna untuk membuka dan menutup kontak. Relay mekanis digunakan untuk menyambung dan memutus beban listrik, seperti pemanas. Relay magnetik sering disebut juga kontrol relay, karena sering digunakan untuk mengontrol relay yang lain. Seringnya pengulangan membuka dan menutup, kontak dapat mengalami kerusakan akibat dari bunga api dan gesekan mekanis (Rusmadi 2016).

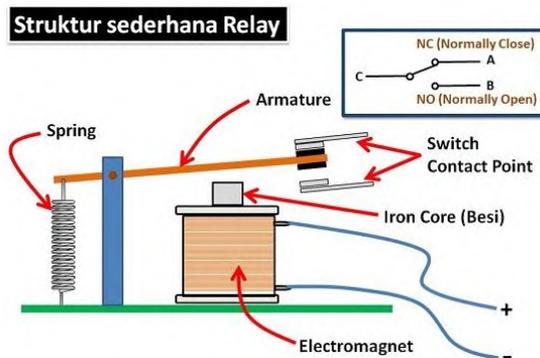
2.4.1 Dasar Relay

Secara garis besar relay dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

- Relay tipe kontak elektromagnetik membuka/menutup secara mekanis.
- Relay tipe non kontak dengan gerbang semi konduktor.

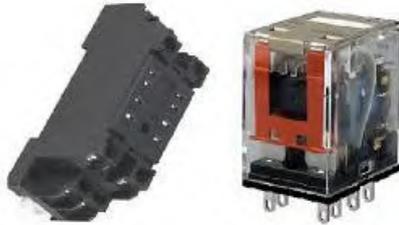
Sedangkan yang akan dipakai disini adalah relay tipe kontak elektromagnetik termasuk tipe kontak dimana relay elektromagnetik merupakan sebuah saklar elektromagnetik yang prinsip kerjanya menggunakan asas kumparan listrik. Prinsip kerja dari relay adalah sebuah kumparan yang berintikan sebuah lempengan besi lunak yang apabila dialiri listrik lempengan besi

koil tersebut akan menjadi magnet Magnet tersebut menarik menolak pegas kontak sebuah alat penghubung dan akibatnya akan terjadi kontak dan lepas kontak dari alat penghubung tersebut, seperti terlihat pada gambar 2.4 jika arus mengalir pada koil elektromagnetik, maka besi penggerak akan tertarik sehingga ada bagian pada relay yang tertutup dan dapat mengalirkan listrik. Stuktur sederhana relay dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur Sederhana Relay

Cara mengaktifkan relay ada dua jenis yaitu dengan arus AC maupun arus DC, cara mengaktifkan relay dengan arus AC mempunyai beberapa keuntungan antara lain dengan arus AC, relay mempunyai ketahanan yang tinggi untuk menerima tegangan langsung dari sumber listrik. Selain itu relay AC tidak mudah terpengaruh dengan tegangan yang berada di sekitarnya, lain halnya dengan relay DC yang mempunyai sensitivitas tinggi terhadap tegangan yang ada disekitarnya. Bentuk fisik relay dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik Relay

2.4.2 Gangguan Utama Pada Relay

Gangguan utama yang sering terjadi pada relay yaitu lemahnya kontak. Hal ini disebabkan oleh berubahnya bentuk kontak, tingginya resistansi film permukaan kontak dan tidak stabilnya tegangan catu. Tahanan film yang tinggi dibuat dengan reaksi kimia dari perak dengan hidrogen terlarut dalam atmosfer, dimana film ini mekaniknya lemah. Sehingga hal ini tidak menjadikan masalah untuk relay-relay besar seperti relay kontaktor, tapi kadang-kadang membuat masalah untuk relay kecil, jika dikarenakan oleh bunga api listrik diantara kontak bila dibuka atau ditutup. Bergantung pada tempat dan keadaan udara dimana relay digunakan. Selain itu juga timbulnya getaran (*chattering*) yang disebabkan oleh hilangnya bunga api.

2.5 Sensor

Sensor merupakan sebuah perangkat keras dari peralatan sistem kontrol yang digunakan untuk mengukur atau mengetahui keadaan dari proses yang terjadi pada sistem dan memberikan masukan berupa *signal* pada sistem kontrol. Jenis sensor yang akan digunakan pada perancangan ini adalah sensor temperatur yaitu *Resistance Temperature Detectors* (RTD) dan sensor mekanik yang berupa *limit switches* (Johnson 2005).

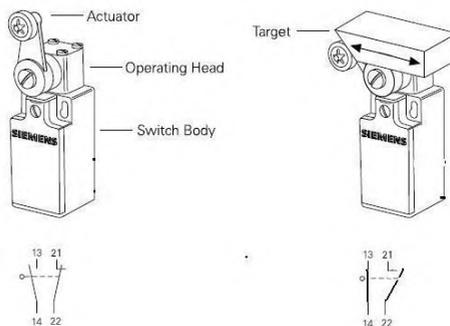
2.5.1 *Limit switch*

Limit switch merupakan sensor mekanik dimana cara kerjanya dengan kontak langsung dari benda kerja pada tuas yang

dimiliki oleh *limit switch*. *Switch* digunakan untuk mengetahui posisi dari sebuah batasan yang berhubungan dengan piston, silinder, rotor, pergerakan tempat mesin, dan lain-lain agar peralatan tersebut dapat terkontrol secara otomatis. *Switch* jenis ini disebut sebagai *switch* pembatas (*limit switch*).

Beberapa macam tipe *switch* pembatas dibuat dengan tujuan untuk memperoleh cara penempatan *switch* pembatas. Macam-macam dari tipe ini disesuaikan dengan pergerakan, suatu ketelitian, dan suatu kekuatan mekanis. Jadi pemilihan *switch* pembatas harus benar-benar tepat untuk suatu sistem. Selain terdapat *switch* pembatas, ada pula *switch* mikro. Bentuk dan pemakaiannya sama dengan *switch* pembatas, hanya saja bentuk bendanya yang lebih kecil.

Biasanya *switch* mikro ini dipakai untuk mendeteksi gerakan mekanis dan posisi terakhir dari suatu gerak dan terkadang untuk mendeteksi putaran pada suatu peralatan yang terlalu cepat. Dalam penggunaannya, *switch* mikro harus diperlakukan secara hati-hati, karena mekanik *switch* sangat rapuh. Konsep mekanis *limit switch* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konsep mekanis *limit switch*

2.5.2 Resistance Temperature Detectors (RTD)

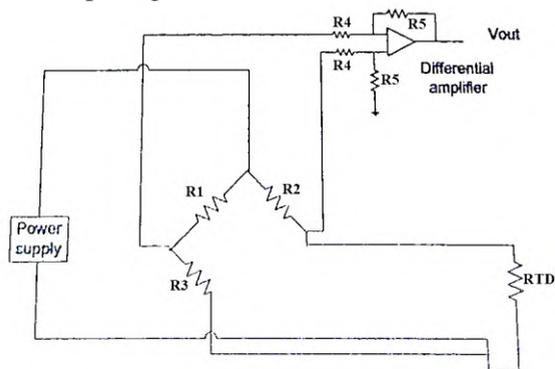
Adalah suatu alat deteksi Temperatur *transducer* yang didasarkan atas prinsip hubungan antara tahanan dan temperatur. Logam yang dipakai adalah dari berbagai platinum yang

mempunyai sifat *repeatable*, cukup *sensitive*, tetapi mahal harganya, atau dipakai nikel yang mempunyai sifat lebih *sensitive* dari platinum, tetapi lebih murah daripada platinum.

RTD mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- *Sensitify/kepekaan*
Kepekaan dari RTD dapat dilihat dari besarnya harga α_0 yaitu perubahan fraksi linier pada tahanan dan temperatur. Untuk bahan platinum $\alpha_0 = 0,004/^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk bahan nikel $\alpha_0 = 0,005/^\circ\text{C}$, perubahan tahanan akan menimbulkan 100Ω RTD jika temperatur berubah 1°C . Tahanan RTD dapat dihitung dengan rumus berikut:
$$R = R_0 (1 + \alpha_0 \Delta T) \quad (2.1)$$
- *Response Time*
Secara umum RTD mempunyai respon time antara 0,5 detik atau lebih.
- *Konstruksi*
RTD adalah sangat sederhana dimana rangkaiannya terdiri dari kawat yang panjang dan tahanannya dimonitor sebagai fungsi dari temperatur. Kawatnya digulung dalam bentuk koil untuk memperkecil ukuran. Menaikkan *thermal conductivity* sehingga menurunkan responnya.
- *Sebagai Signal Conditioning*
Dengan perubahan fraksi (α_0) yang relatif kecil, maka RTD pada umumnya dipakai pada rangkaian jembatan (*circuit circuit*) dengan kondisi null yang sangat akurat dalam mendeteksi. Untuk aplikasi pada proses kontrol, jembatan membutuhkan sifat membuat null sendiri (*self null*) output dari rangkaian nulling yang merupakan controller output adalah 4-20 mA atau 10-50 mA. Sistem dari RTD dapat dilihat pada gambar 2.6 dimana R3 diperlukan jika kawat yang dibutuhkan sangat panjang sebagai feedback controller dipakai suatu peralatan elektromekanik yang dapat merubah R2 sehingga arus

balance dari *circuit* tetap dapat dijaga. Pada RTD, ada suatu konstanta disipasi constant adalah suatu bilangan yang menyatakan berapa watt tenaga yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur RTD 1°C . Contoh suatu konstanta disipasi sebesar $25 \text{ Mw}^{\circ}\text{C}$, berarti jika daya (I^2R) turun pada RTD sebesar 25 mW , kemudian RTD akan dipanasi sebesar 1°C . *Signal Conditioning* RTD dapat dilihat pada gambar 2.7.



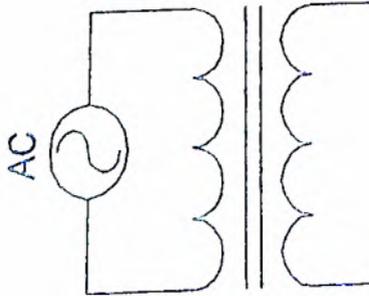
Gambar 2.7 *Signal Conditioning* RTD

2.6 Pecatu Daya

Sebagai sumber daya sebagian besar piranti elektronika membutuhkan tegangan searah (DC) Penggunaan baterai sebagai sumber daya DC kurang efektif, hal ini disebabkan daya yang dimiliki oleh baterai hanya mampu digunakan dalam beberapa waktu saja (tidak tahan lama) dan harganya relatif mahal. Satu-satunya sumber daya yang mudah didapat dan paling murah adalah tegangan listrik dari jaringan PLN sebesar 110/220 volt dengan frekuensi 50 60 Hz. Tegangan jaringan ini berupa tegangan bolak balik (AC). Agar dapat mensupply piranti elektronik yang membutuhkan tegangan DC, maka diperlukan sebuah rangkaian yang bisa merubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah yang dinamakan rangkaian penyearah yang tidak berkurang tegangan DC-nya ketika arus beban yang

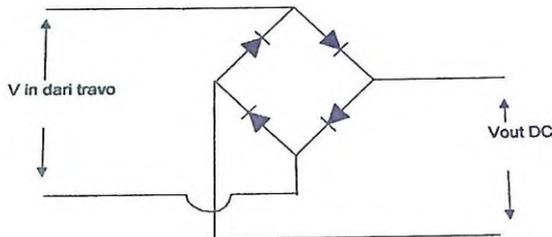
lebih besar dialirkan dari pencatu daya ini (Johnson 2005). Beberapa komponen penunjang dari rangkaian pencatu daya meliputi:

- Transformator daya
Digunakan untuk menurunkan tegangan listrik AC 220 volt menjadi AC yang lebih rendah, Gambar 2.8 di bawah ini menunjukkan bentuk simbol transformator daya.



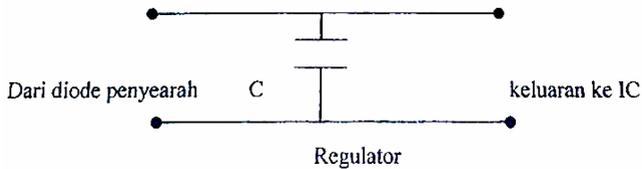
Gambar 2.8 Simbol transformator daya

- Diode penyearah
Diode ini berfungsi mengubah tegangan bolak balik menjadi tegangan searah, konfigurasi dari pemakaian diode penyearah ini ada dua macam yaitu penyearah diode setengah gelombang dan penyearah diode gelombang penuh. Gambar 2.9 di bawah ini menunjukkan bentuk simbol konfigurasi diode.



Gambar 2.9 Konfigurasi Diode

- **Kapasitor filter**
Tegangan keluaran dari diode penyearah gelombang penuh masih dalam kondisi sinyal belum stabil sehingga dibutuhkan sebuah kapasitor filter yang ditempatkan pada terminal keluaran dari diode penyearah. Gambar 2.10 di bawah ini menunjukkan bentuk simbol kapasitor filter.



Gambar 2.10 Kapasitor filter

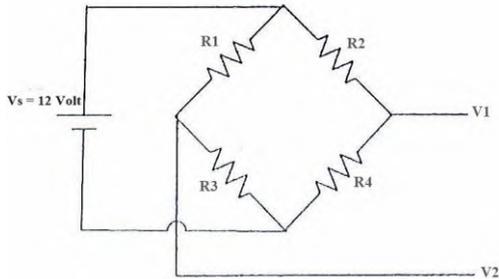
Kapasitor ini berfungsi untuk meratakan sinyal-sinyal tersebut dan memberikan suatu tegangan searah yang hampir murni.

2.7 Analog Signal Conditioning

Suatu transduser mengukur sebuah dynamic variable, dengan mengubah informasi yaitu variable tersebut dirubah kedalam dependent *signal* dengan elektrik. ASC adalah suatu analog perantara untuk merubah sesuatu variable yang mempunyai harga yang tidak tetap menjadi variable yang tetap (Johnson 2005).

2.7.1 Circuit circuit (rangkaiian jembatan)

Circuit circuit adalah circuit yang digunakan untuk mengukur beda potensial dengan memberikan potensial listrik, seperti wheatstone *circuit*. Circuit ini dipakai, dimana transduser berubah sesuai dengan perubahan tahanan R, dimana R4 dapat digunakan sebagai sensor RTD. Pada gambar 2.11 akan terjadi perbedaan potensial listrik pada V1 dan V2.



Gambar 2.11 Wheatstone circuit

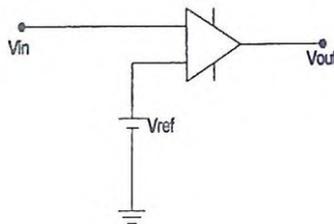
$$\text{Dimana : } V1 = \frac{VR3}{R1+R3} \quad (2.2)$$

$$V2 = \frac{VR4}{R2+R4} \quad (2.3)$$

V_s = Voltage supply (volt)

2.7.2 Operational Amplifier

Salah satu komponen pada *signal conditioning* dimana ini mudah diperoleh dan dapat diandalkan adalah *amplifier*. *Amplifier* merupakan integrated circuit (IC) dan dapat dengan cepat menyelesaikan masalah pada *signal Conditioning*, selain itu *amplifier* mempunyai keunggulan ukurannya kecil, low power consumption dan murah. Gambar 2.12 merupakan rangkaian operational *amplifier*.



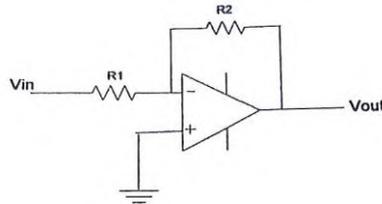
Gambar 2.12 Operational amplifier

Dimana: $V_{in} - V_{ref} > 0$, V_{out} akan positif (+)

$V_{in} - V_{ref} < 0$, V_{out} akan negatif (-)

2.7.2.1 Inverting Amplifier

Penggunaan inverting *amplifier* dapat digunakan sebagai pembalik, penguat maupun pelemah, inverting *amplifier* dapat dilihat pada gambar 2.13 di bawah ini:



Gambar 2.13 Inverting *amplifier*

$$\text{Dimana } V_{\text{out}} = - \left(\frac{R_2}{R_1} \right) V_{\text{in}} \quad (2.4)$$

Jika $V_{\text{in}} > 0$ (positif), maka output akan negative.

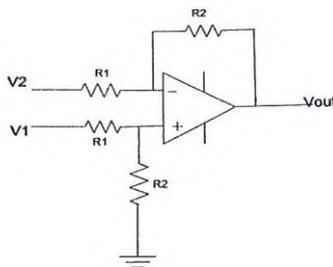
$V_{\text{in}} < 0$ (negative), maka output akan positif.

$R_2 > R_1$, maka dapat dipakai sebagai pelemah.

$R_2 < R_1$, maka dapat dipakai sebagai penguat.

2.7.2.2 Differential Amplifier

Pada berbagai peralatan bantu proses kontrol, sebuah differential *amplifier* diperlukan sebagai penguat maupun pelemah dengan mengatur rasio perbandingan R_1 dan R_2 disesuaikan dengan kebutuhan tegangan output. Rangkaian ini dapat digunakan dengan tegangan input dari rangkaian jembatan. Gambar 2.14 di bawah ini merupakan gambar differential *amplifier*.



Gambar 2.14 Differential *amplifier*

$$\text{Dimana } V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (V_2 - V_1) \quad (2.5)$$

Rangkaian ini hampir sama seperti inverting *amplifier* hanya differential *amplifier* tidak bisa membalik tegangan yang masuk.

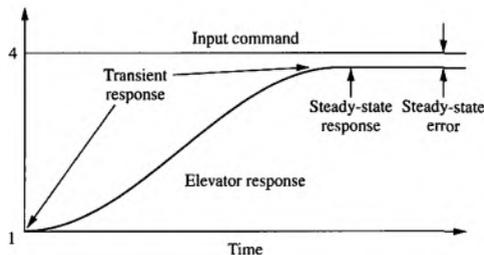
2.8 Respon Sistem

Respon sistem adalah tanggapan sistem terhadap perubahan sinyal input. Respon sistem biasanya disajikan dalam bentuk kurva sehingga karakteristik sistem mudah untuk dianalisa (Nise 2014). Terdapat beberapa sinyal yang biasa diberikan untuk melihat respon sistem, diantaranya:

- Sinyal impuls, yaitu sinyal yang bernilai tak terbatas saat $t = 0$, dan nol saat t bernilai lain. Sinyal impulse ini digunakan untuk dapat melihat respon transien.
- Sinyal step, yaitu sinyal yang memberikan suatu nilai pada waktu tertentu, kemudian bernilai konstan hingga $t = \infty$
- Sinyal ramp, merupakan sinyal yang mempunyai perubahan nilai linear terhadap fungsi waktu.

2.8.1 Transient Response

Ketika input diberikan pada suatu sistem, sistem membutuhkan waktu untuk mencapai kondisi tunak. Bagaimana perilaku sistem selama periode peralihan ini disebut *transient response*. *Transien respon* cukup penting dalam sistem kontrol. Karakteristik respon transien ditunjukkan pada gambar 2.15.

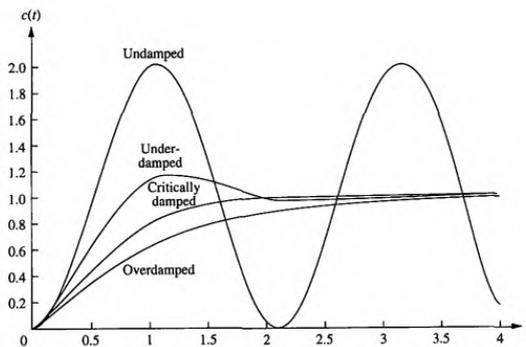


Gambar 2.15 *Transient Response*

Terdapat beberapa jenis sinyal respon *transient*, yaitu:

- *Underdamped response*, yaitu output melesat naik untuk mencapai nilai set point, lalu turun untuk kemudian berhenti disekitar nilai akhir. Respon ini memiliki efek osilasi dan mempunyai besar damping ratio < 1 .
- *Overdamped response*, yaitu nilai output tidak pernah melewati nilai input tetapi membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai nilai kondisi tunaknya. Respon ini memiliki nilai damping ratio > 1 .
- *Critically damped response*, dimana respon dapat mendekati nilai kondisi tunak cukup cepat tanpa melewati batas nilai input. Respon ini memiliki nilai damping ratio $= 1$.
- *Undamped response*, dimana output sistem berosilasi terus menerus tanpa mencapai nilai kondisi tunak.

Berbagai respon transien sistem terhadap pemberian input step dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Transient Response Terhadap Step Signal.*

2.8.2 *Steady state Response*

Tujuan desain kontrol selain *transient response* adalah *steady state response*. Yaitu ketika respon sistem mendekati nilai input, dan bernilai konstan hingga t mencapai ∞ . Fokus pada respon ini adalah akurasi dari *steady state response*, yaitu

seberapa besar kemampuan sistem untuk mendekati nilai referensi yang diberikan, yang biasa diindikasikan dari parameter yang disebut *steady state error*. Suatu sistem bisa jadi tidak pernah mencapai kondisi tunak, dimana disebut *unstable system*.

2.8.3 *Steady state Error*

Steady state error merupakan selisih antara nilai set point dengan nilai output aktual sistem. Persamaan matematisnya sebagaimana persamaan:

$$E(t) = r - C(t) \quad (2.6)$$

Dimana :

- $E(t)$ = *Error* set point berubah terhadap fungsi waktu.
- r = Nilai set point.
- $C(t)$ = Nilai keluaran aktual sistem yang didapat dari hasil pengukuran terhadap fungsi waktu.

Steady state error dapat diukur ketika sistem sudah mencapai kondisi tunak, dimana respon sistem sudah tidak berubah terhadap waktu, hingga t mencapai .

2.9 Analisa Kestabilan

Suatu sistem yang stabil dapat didefinisikan sebagai sistem yang memiliki respon sistem yang terbatas Dengan maksud, suatu sistem diberikan suatu input atau gangguan dengan besaran terbatas, maka respon dari sistem tersebut dibatasi pada besaran tertentu maka sistem tersebut bisa dikatakan stabil.

Suatu sistem dikatakan stabil atau tidak jika seluruh *pole* dari transfer function terletak pada bagian s-plane sebelah kiri atau begitu juga jika seluruh eigenvalue dari sistem matrix A terletak pada bagian s-plane sebelah kiri. Jika seluruh *pole* atau *eigenvalue* terletak dibagian s-plane sebelah kiri maka relative stability dari sistem dianalisa dengan melakukan analisa terhadap kedudukan relatif dari *pole* yang ada (Ogata 2016).

2.9.1 Analisa Stabilitas Routh-Hurwitz

Kriteria stability yang ditemukan oleh EJ Routh dan A Hurwitz merupakan kriteria yang penting dan handal diterapkan dalam analisa stabilitas suatu sistem linier. Kriteria Routh-Hurwitz didasarkan pada pengurutan koefisien persamaan karakteristik suatu sistem transfer function $G(s)$ dengan persamaan karakteristik.

Kriteria Hurwitz dapat digunakan untuk mengetahui instabilitas sistem, tapi tidak cukup untuk memastikan stabilitas sistem. Kriteria Routh-Hurwitz adalah metode yang efektif untuk menguji kestabilan sistem. Kriteria ini juga dapat menunjukkan jumlah *pole* pada RHP atau pada sumbu. Tes stabilitas yang handal untuk segala bentuk kasus dapat digunakan dalam proses disain untuk memastikan kestabilan sistem, misalnya untuk memantau kapan sistem mulai tidak stabil jika gain terus ditingkatkan.

Transfer function close loop :

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n} \quad (2.7)$$

- Kriteria Kestabilan Routh Hurwitz
 1. Kriteria ini menunjukkan adakah akar-akar tak stabil persamaan polinom orde n (n =berhingga) tanpa perlu menyelesaikannya.
 2. Untuk sistem kendali, ketabilan mutlak langsung dapat diketahui dari koefisien-koefisien persamaan karakteristik.
- Prosedur:
 1. Tulis persamaan orde- n dalam bentuk sbb:

$$a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n = 0 \quad (2.8)$$
 Dengan koefisien-koefisien : besaran nyata dan $a \neq 0$ (akar di titik asal sudah dihilangkan).
 2. Bila ada koefisien yang bernilai 0 atau negatif disamping

Dengan koefisien-koefisien : besaran nyata dan

adanya koefisien positif, maka hal ini menunjukkan ada satu akar atau akar-akar imajiner aatau memiliki bagian real positif (sistem tak stabil). Kondisi perlu (tetapi belum cukup) untuk stabil adalah semua koefisien persamaan polinom positif dan lengkap.

3. Bila semua koefisien positif, buat tabel Routh hurwitch:

$$\begin{array}{rcccccccc}
 s^n & a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & . & . & . \\
 s^{n-1} & a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & . & . & . \\
 s^{n-2} & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & . & . & . \\
 s^{n-3} & c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & . & . & . \\
 s^{n-4} & d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 . & . & . & . & . & . & . & . \\
 s^2 & e_1 & e_2 & . & . & . & . & . \\
 s^1 & f_1 & . & . & . & . & . & . \\
 s^0 & g_1 & . & . & . & . & . & .
 \end{array}$$

dengan koefisien-koefisien :

$$b_1 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1} \quad c_1 = \frac{b_1 a_3 - a_1 b_2}{b_1}$$

$$b_2 = \frac{a_1 a_4 - a_2 a_5}{a_1} \quad c_2 = \frac{b_1 a_5 - a_1 b_3}{b_1}$$

$$b_3 = \frac{a_1 a_6 - a_4 a_7}{a_1} \quad c_3 = \frac{b_1 a_7 - a_1 b_4}{b_1}$$

$$. \quad .$$

$$d_1 = \frac{c_1 b_2 - b_1 c_2}{c_1}$$

$$d_2 = \frac{c_1 b_3 - b_1 c_3}{c_1}$$

$$. \quad .$$

4. Kriteria kestabilan Routh : banyaknya akar tak stabil = banyaknya perubahan tanda pada kolom pertama tabel Routh.
5. Syarat perlu dan cukup untuk stabil :
- Semua koefisien persamaan karakteristik positif.
 - Semua suku pada kolom pertama tabel Routh bertanda positif.

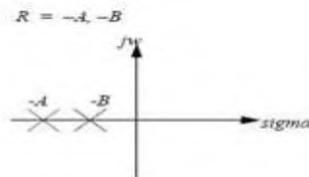
2.9.2 Analisa *Root Locus*

Terdapat beberapa metode yang bisa digunakan untuk menganalisa kestabilan suatu sistem kontrol, diantaranya adalah metode *root locus*.

Root locus merupakan suatu metode untuk menganalisa kestabilan sistem dengan melihat kedudukan *poles* suatu fungsi alih. Hubungan kestabilan sistem dengan kedudukan *poles* sebagai berikut:

- Negatif real

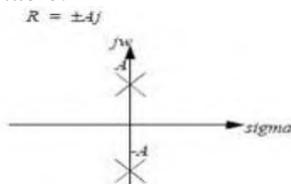
Sistem dikatakan stabil apabila *poles* berada pada posisi negative real pada s-plane sebagaimana terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Poles* Berada Pada Negatif Real

- Kompleks (real = 0)

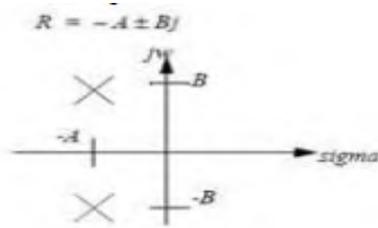
Jika *pole* berada tepat pada origin s-plane (sebagaimana pada gambar 2.18), maka respon sistem akan berupa marginally stable.



Gambar 2.18 *Poles* Berada Pada Origin

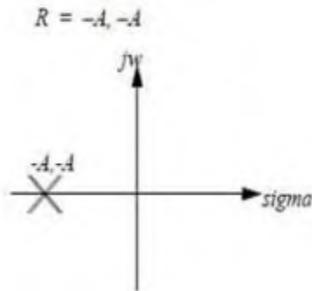
- Negatif real dan kompleks

Jika *pole* bernilai negatif real dan imajiner (sebagaimana pada gambar 2.19), maka respon dari sistem akan berosilasi namun semakin mengecil dan menuju kondisi stabil.



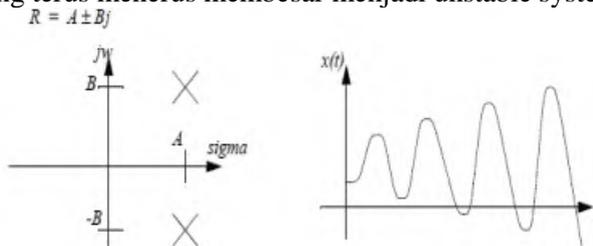
Gambar 2.19 Poles Bernilai Negatif dan Kompleks

- Negatif real kembar
Jika *pole* berada pada negative real dan bernilai sama kembar (sebagaimana pada gambar 2.20) maka sistem akan menuju keadaan stabil tanpa diawali osilasi.



Gambar 2.20 Poles Bernilai Negatif Real Kembar

- Positif
Apabila ada satu atau lebih *pole* yang berada pada daerah positif, baik real maupun kompleks (sebagaimana pada gambar 2.21), maka sistem cenderung mengalami osilasi yang terus menerus membesar menjadi unstable system.



Gambar 2.21 Poles Bernilai Positif

BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi perencanaan bertujuan untuk memberikan gambaran umum proses menganalisa yang dilakukan, dimana terbagi dalam beberapa bagian langkah – langkah perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap pengumpulan data.
2. Perencanaan cara kerja mesin *press* panas.
3. Analisa sistem kontrol temperatur mesin *press* panas.

3.1 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data diperlukan data – data seperti berikut:

- Studi literature tentang proses *press* panas.
- Studi literature tentang spesifikasi komponen kontrol mesin *press* panas.

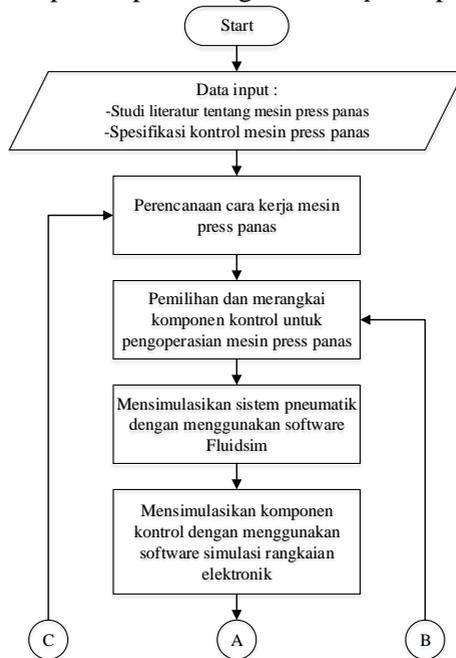
3.2 Perencanaan Cara Kerja Mesin *Press* Panas Pneumatik

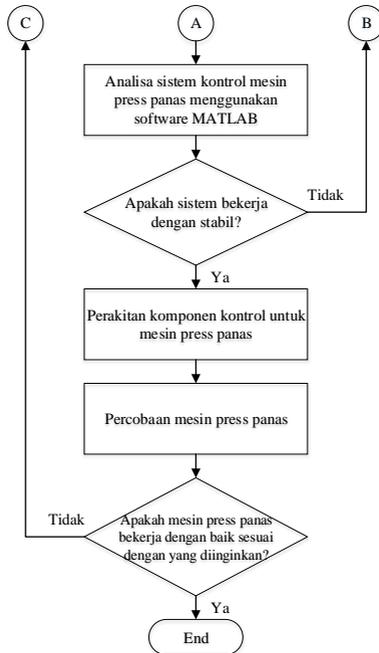
Perencanaan cara kerja mesin *press* panas ini berguna untuk mendapatkan gambaran awal yang dapat digunakan dalam merangkai sistem kontrol mesin *press* panas. Dalam tahap ini akan dijelaskan tentang langkah – langkah kerja mesin *press* panas dan digambarkan diagram alir urutan proses kerja mesin *press* panas berbasis relay. Berikut adalah cara kerja atau langkah – langkah proses kerja dari mesin *press* panas.

1. Menghidupkan saklar listrik mesin ke kondisi *ON* sehingga lampu indicator yang terletak di kotak kontrol akan menyala.
2. Melakukan pengaturan pada temperatur kontroller sehingga mecepat *set point* yang diinginkan.
3. Melakukan pengaturan pada *timer* sehingga mecepat *set point* yang diinginkan.

4. Menghidupkan saklar pemanas di kondisi ON sehingga pemanas akan memanaskan cetakan sampai temperatur mencapai *set point*.
5. Menekan kontak untuk menjalankan silinder pneumatik sehingga kontrol berjalan dan menggerakkan silinder pneumatik untuk memberikan tekanan pada cetakan.
6. Pada saat silinder pneumatik turun akan mengaktifkan limit switch yang ada sehingga *timer* akan menghitung waktu penahanan sesuai dengan *set point*, setelah waktu penahan selesai maka silinder pneumatik akan naik.
7. Jika proses sudah selesai maka tahap berikutnya mematikan pemanas dan mematikan *timer* yang selanjutnya mematikan saklar listrik yang semua panel tersebut terletak di kotak kontrol.

Kemudian berikut pada gambar 3.1 adalah penjelasan tentang diagram alir dari proses perancangan mesin *press* panas:

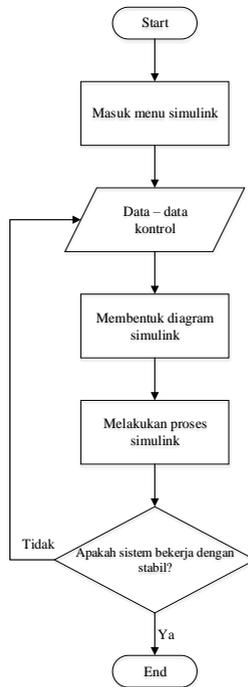




Gambar 3.1 Diagram alir proses perencanaan mesin *press* panas

3.3 Analisis Sistem Kontrol Mesin *Press* Panas

Pada tahap ini dilakukan analisis dari sistem kontrol yang berada di mesin *press* panas, meliputi analisa terhadap kestabilan sistem kontrol temperatur. Untuk tahap ini didapatkan informasi tentang kestabilan sistem kontrol temperatur menggunakan bantuan Matlab. Dengan menggunakan *software* Matlab dapat membantu menganalisa sistem kontrol temperatur dengan memberikan batasan – batasan yang diperlukan. Berikut pada gambar 3.2 adalah urutan proses cek kestabilan dengan *software* Matlab:



Gambar 3.2 Diagram alir dari simulasi Matlab

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan Cara Kerja Pneumatik

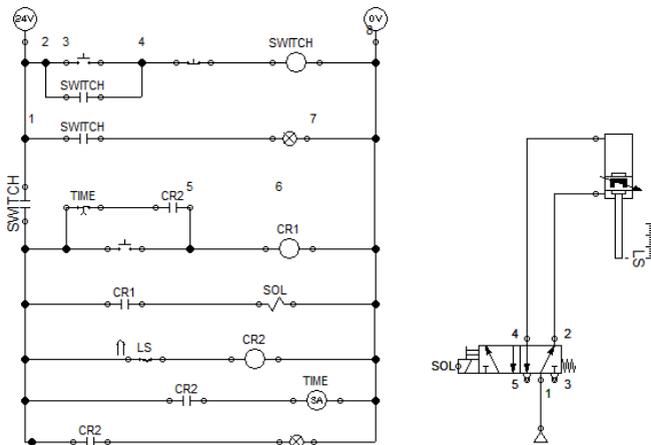
Untuk memberikan tekanan, maka dibutuhkan silinder pneumatik yang bergerak naik turun untuk memberikan tekanan pada produk sehingga profil cupcake dapat terbentuk. Pemilihan silinder pneumatik ini didasari atas pertimbangan:

1. Beban yang digerakkan relatif ringan sehingga tidak dibutuhkan perangkat yang dapat mengangkat beban berat seperti yang dapat dilakukan oleh silinder hidrolik.
2. Jika terjadi kebocoran fluida kerja silinder pneumatik tidak membuat lingkungan menjadi kotor karena fluida kerjanya berupa udara, sedangkan silinder hidrolik akan menyebabkan kotor lingkungan kerjanya karena fluida kerja silinder hidrolik berupa fluida cair (oli).

Pemasangan silinder pneumatik sendiri tentunya akan dilengkapi dengan komponen pendukungnya, sehingga silinder pneumatik dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Komponen-komponen silinder pneumatik yang akan dipasang antara lain:

1. Filter udara.
2. Katup kontrol tekanan.
3. Pelumas udara.
4. Kontrol katup pengarah.
5. Katup pengontrol aliran.

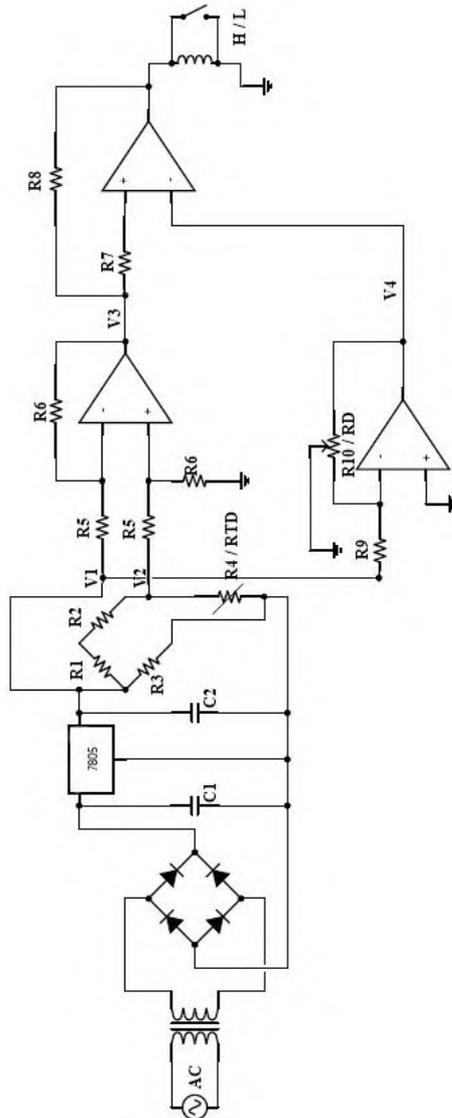
Gambar 4.1 merupakan gambar ladder diagram sistem pneumatik yang akan digunakan pada mesin *press* panas, pada diagram 4.1 ketika udara bertekanan dari kompresor masuk ke silinder maka silinder dalam keadaan mundur, dan ketika katup dioperasikan maka aliran udara dari kompresor akan masuk ke silinder pneumatik sehingga silinder berubah posisi atau bergerak maju hingga menyentuh *limit switch*.



Gambar 4.1 Ladder Diagram Sistem Pneumatik

Pada gambar 4.1 terlihat ladder diagram yang dapat digunakan untuk menjelaskan cara kerja timer, dimana timer dipicu oleh *limit switch* yang diaktifkan ketika solenoid dialiri listrik oleh stop kontak injak ON untuk menggerakkan silinder pneumatik. Ketika waktu timer habis aliran listrik pada solenoid akan terputus sehingga silinder pneumatik akan bergerak keatas. Dari ladder diagram dapat diaplikasikan menjadi wiring diagram dan pemilihan komponen untuk pembuatan kontrol mesin *press* panas pneumatik (lampiran)

4.2 Rangkaian Signal Conditioning Temperatur Kontrol



Gambar 4.2 Signal Conditioning Temperatur Kontrol.

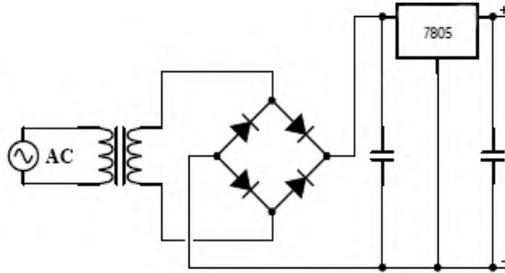
4.2.1 Catu Daya

Signal conditioning di atas tidak akan berfungsi jika tidak ada arus listrik dan tegangan, maka disini digunakan power supply (catu daya) sebagai pemberi arus dan tegangan yang diperlukan oleh rangkaian signal conditioning tersebut. Tegangan dan arus yang diberikan pada rangkaian elektronika harus sesuai dengan spesifikasi peralatan tersebut, jika arus atau tegangan yang diberikan terlalu besar maka rangkaian elektronika akan rusak. Dan jika arus atau tegangan yang diberikan terlalu kecil maka rangkaian elektronika tersebut tidak akan bekerja dengan baik bahkan ada kemungkinan alat tersebut tidak bekerja. Dalam hal ini catu daya yang dibutuhkan adalah tegangan sebesar 12 volt.

Sedangkan transformator berfungsi menurunkan tegangan dan mengisolasi dari hubungan dengan jala-jala PLN. Transformator penurun tegangan dipilih yang memiliki daerah kerja dari kumparan primernya 110/220 volt untuk menyesuaikan tegangan jala-jala PLN yang berlaku di Indonesia.

Dioda berfungsi untuk menyearahkan tegangan AC yang sudah diturunkan pada transformator. Dioda tersebut menggunakan pola layang-layang yang akan menghasilkan penyearahan gelombang penuh yang lebih halus dari setengah gelombang. Gelombang searah dihasilkan oleh dioda, maka akan diumpankan pada kapasitor yang akan menyimpan muatan untuk sementara waktu. Selain berfungsi sebagai penyimpan muatan sementara kapasitor juga berfungsi sebagai filter, sehingga akan menghasilkan tegangan DC yang mendekati baterai.

Setelah kapasitor terdapat voltage regulator bertujuan untuk mempertahankan atau memastikan tegangan pada level tertentu secara otomatis. Artinya, Tegangan Output DC pada Voltage Regulator tidak dipengaruhi oleh perubahan tegangan Input. Tegangan Stabil yang bebas dari segala gangguan seperti noise ataupun fluktuasi (naik turun) sangat dibutuhkan. Gambar 4.3 merupakan rangkaian catu daya.



Gambar 4.3 Catu daya.

4.2.2 Jembatan Wheatstone

Setelah melalui catu daya untuk mendapatkan tegangan DC 12 volt, selanjutnya power supply pada jembatan wheatstone. Jembatan wheatstone sendiri digunakan untuk mengukur beda potensial pada V1 dan V2 dimana pada V2 dipasang sensor temperatur RTD pada salah satu tahanan dari jembatan wheatstone. Sensor RTD yang digunakan dari bahan platinum mempunyai data yang diambil dari buku process control instrumentation technology sebagai berikut:

- Kepekaan $\alpha_0 = 0,004/^\circ\text{C}$
- Tahanan pada 0°C , $R_0 = 100 \Omega$
- Range temperatur, $T = 0^\circ\text{C}$ sampai 320°C

Untuk mendapatkan besarnya tahanan yang terjadi pada R_4 dapat dicari menggunakan rumus 2.1, pada perhitungan ini diasumsikan temperatur kontrol di set pada temperatur 50°C .

$$R_4 = R_0 (1 + \alpha_0 \Delta T)$$

$$R_4 = 100 (1 + 0.004 \cdot \Delta T)$$

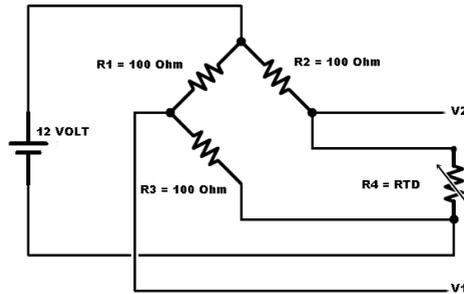
$$R_4 = 100 + 0.4 (\Delta T)$$

$$\begin{aligned} \text{Pada temperatur } T = 0^\circ\text{C}; R_4 &= 100 + 0.4 (0) \\ &= 100 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada temperatur } T = 50^\circ\text{C}; R_4 &= 100 + 0.4 (50) \\ &= 120 \Omega \end{aligned}$$

Jadi perubahan tahanan R_4 akan naik seiring dengan temperatur. Di bawah ini merupakan rangkaian jembatan

wheatstone dengan sensor RTD pada posisi R4. Gambar 4.4 merupakan rangkaian RTD.



Gambar 4.4 Jembatan Wheatstone

Jembatan wheatstone di atas menimbulkan beda potensial pada V1 dan V2, dimana seperti pada temperatur $T = 50^{\circ}\text{C}$, V1 dan V2 dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2.1 dan 2.2:

$$V1 = \frac{VR3}{R1+R3}$$

$$V1 = \frac{12 \cdot 100}{100+100}$$

$$V1 = 6 \text{ Volt}$$

$$V2 = \frac{VR4}{R2+R4}$$

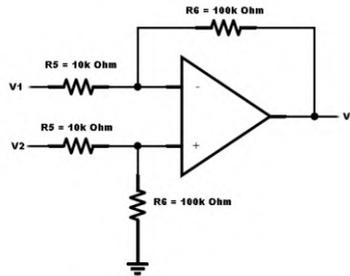
$$V2 = \frac{12 \cdot 120}{100+120}$$

$$V2 = 6,545 \text{ Volt}$$

4.2.3 Differential Amplifier

Rangkaian *differential amplifier* merupakan rangkaian penguat yang digunakan pada temperatur kontrol. Tegangan input pada rangkaian differential amplifier berasal dari tegangan output dari jembatan wheatstone yaitu V1 dan V2 sedangkan tegangan outputnya V3.

Di bawah ini ada rangkaian *differential amplifier* pada temperatur kontrol. Gambar 4.5 merupakan rangkaian catu daya.



Gambar 4.5 Differential amplifier

Pada temperatur $T = 50^{\circ}\text{C}$ tegangan output V_3 dapat diketahui dengan menggunakan rumus 2.5:

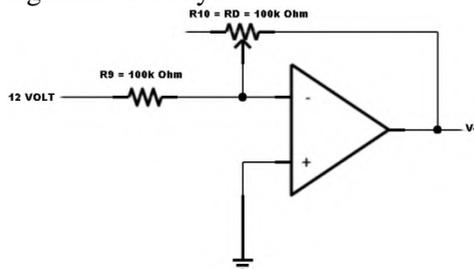
$$V_{out} = \left(\frac{R_6}{R_5} \right) (V_2 - V_1)$$

$$V_{out} = \left(\frac{100000}{10000} \right) (6,545 - 6)$$

$$V_{out} = 5,45 \text{ Volt}$$

4.2.4 Potensiometer

Rangkaian potensiometer ini digunakan untuk melakukan pengesetan tegangan referensi V_{ref} pada temperatur kontrol. Rangkaian ini memiliki tahanan yang bisa berubah sesuai dengan besarnya temperatur yang dibutuhkan dengan berubahnya nilai tahanan maka tegangan yang tegangan yang keluar dari rangkaian potensiometer tersebut juga akan berubah. Di bawah ini merupakan gambar rangkaian potensiometer. Gambar 4.3 merupakan rangkaian catu daya.



Gambar 4.6 Potensiometer

Dimana untuk mendapatkan temperatur sebesar $T = 50^{\circ}\text{C}$, maka potensiometer harus merubah tahanannya R_D dimana $V_4 = V_5$, R_D dapat dihitung dengan menggunakan rumus 2.4:

$$V_{out} = - \left(\frac{R_{10}}{R_9} \right) V_s$$

$$R_{10} = - \left(\frac{V_{out} \cdot R_9}{V_s} \right)$$

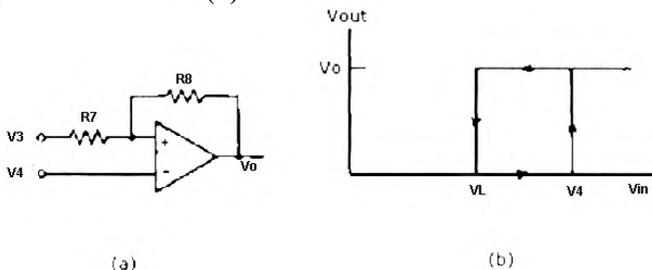
$$R_{10} = - \left(\frac{-5.45 \cdot 100}{12} \right)$$

$$R_{10} = 45,5 \text{ K}\Omega$$

Jadi untuk mendapatkan temperatur sebesar $T = 50^{\circ}\text{C}$, tahanan pada temperatur kontrol di set sebesar $45,5 \text{ K}\Omega$.

4.2.5 Komparator dengan Histerisis

Rangkaian komparator ini untuk membandingkan tegangan yang masuk dari sensor berupa tegangan V_4 dengan tegangan V_3 yang telah diset memutar potensiometer. Berikut Gambar 4.7 adalah rangkaian komparator (a) dengan tanggapan komparator histerisis (b).



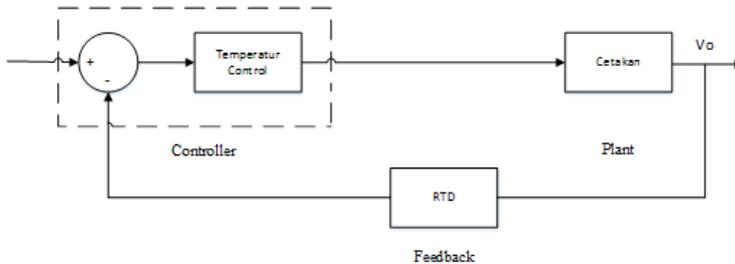
Gambar 4.7 Komparator dengan Histerisis

Tegangan output akan berharga 1 jika $V_3 < V_4$ sehingga akan memberi regangan input pada relay untuk menyalakan *heater* dan jika $V_3 > V_4$ maka tidak timbul tegangan yang menjadi input pada relay sehingga *heater* akan Off.

Besar histerisis (H) = $V_L - V_H$ dimana $V_L = V_3 - (R_7/R_8) V_4$

4.4 Model Simulink Pengontrolan Temperatur

Pada mesin *press* panas pneumatik pengontrolan temperatur dapat disimulasikan dengan menggunakan matlab, sehingga dapat diketahui sejauh mana sistem pengontrolan temperatur pada mesin ini dapat bekerja. Dalam simulasi ini diasumsikan panas berpindah hanya pada satu arah karena daerah sekitar cetakan di isolasi, dan mengabaikan semua disturbance yang terjadi dan sistem kontrol merupakan sistem linear. Gambar 4.9 dibawah ini merupakan diagram blok pengontrolan temperatur



Gambar 4.9 Diagram Blok Kontrol Temperatur

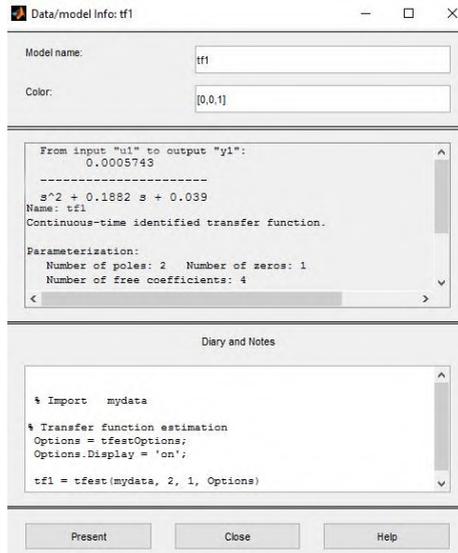
4.4.1 Koefisien Diagram Blok

Untuk membuat simulink kontrol temperatur pada matlab, diperlukan adanya nilai atau koefisien pada diagram blok. Berikut ini akan dijelaskan koefisien-koefisien pada diagram blok pengontrolan temperatur.

4.4.1.1 Sistem Kontrol Temperatur

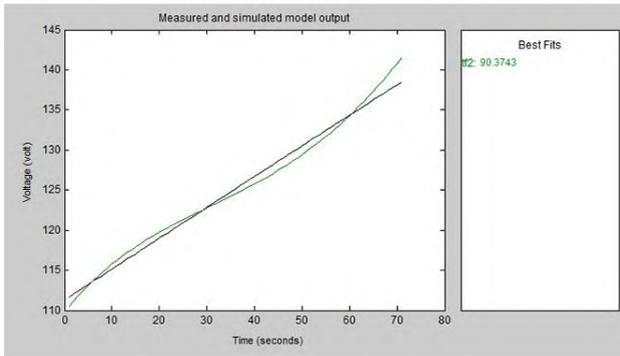
Yang dimaksud sistem kontrol temperatur disini ialah mulai dari adanya masukan (input) berupa tegangan pada temperatur kontrol sampai keluaran (output) berupa temperatur pada *heater*. Pada pengontrolan temperatur ini diperlukan persamaan pengaruh tegangan terhadap temperatur dimana tegangan sebagai input dan temperatur sebagai output. Setelah melakukan pengolahan data dari rangkaian temperatur kontrol, maka didapatkan persamaan model matematis untuk melakukan simulasi matlab. Model matematis sistem didapat dengan

menggunakan metode system identification. Transfer function yang didapat dari hasil pemodelan selanjutnya akan digunakan untuk perancangan sistem kontrol pada simulink. Gambar 4.10 merupakan hasil transfer function yang didapatkan dari metode system identification



Gambar 4.10 Transfer Function dari Metode System Identification

Untuk mengetahui apakah model matematis sudah sesuai atau belum maka perlu dilakukan validasi. Validasi model dilakukan dengan mengecek persentase best fitting antara respon sistem hasil simulasi model dengan sistem aktual. Model dengan best fitting yang tinggi mengindikasikan bahwa model merepresentasikan sistem aktual dengan baik. Model dapat diterima jika persentase best fits melebihi 90%. Terlihat pada gambar 4.11 bahwa model telah memiliki kriteria best fits lebih dari 90%, artinya model memenuhi kriteria validasi.



Gambar 4.11 Validasi model matematis sistem

4.4.1.2 Cetakan

Pada cetakan terjadi perpindahan panas dari *heater* ke cetakan. Hali ini terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara temperatur *heater* dengan temperatur cetakan yang mana besarnya adalah $\Delta T = \pm 2^\circ\text{C}$. Agar persamaan perpindahan panas dapat dipakai, maka persamaan tersebut harus dijadikan time domain dengan melakukan transformasi laplace. Diperlukan juga data dari dimensi cetakan yaitu $p \times l \times t$ sebesar $0.071 \text{ m} \times 0.066 \text{ m} \times 0.28 \text{ m}$. Selain itu juga diperlukan data konduktifitas dari bahan cetakan (K) sebesar -177 W/m.K . Sehingga Transformasi laplace dari fungsi $q(t)$ diperoleh sebagai berikut :Transformasi laplace dari fungsi $q(t)$ diperoleh sebagai berikut :

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} q(t) e^{-st} dt$$

Dimana
$$q(t) = \frac{-K \cdot A}{L} \frac{dT}{dt}$$

Sehingga
$$F(s) = \int_0^{\infty} \frac{-K \cdot A}{L} \frac{dT}{dt} e^{-st} dt$$

$$F(s) = \frac{-K \cdot A}{L} \int_0^{\infty} \Delta T e^{-st} dt$$

$$F(s) = \frac{-K \cdot A}{L} x \frac{\Delta T}{s}$$

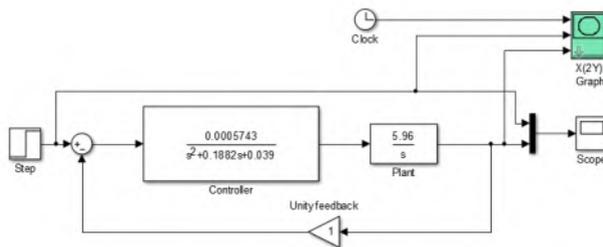
$$F(s) = \frac{5.92}{s}$$

4.4.1.3 RTD

RTD digunakan sebagai feedback atau sistem pengendalian umpan balik. Dalam hal ini sensor temperatur dianggap sebagai unity feedback ($H=1$) yang artinya besaran output sama jika dibandingkan dengan besaran input sehingga mempunyai nilai gain sebesar 1. Sistem pengendalian umpan balik disebut juga negative feedback, karena hasil balik yang negative akan dikendalikan supaya menjadi baik untuk masukan proses selanjutnya.

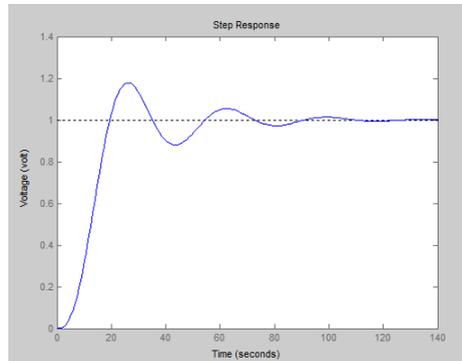
4.4.2 Hasil Simulink Matlab

Dari semua persamaan yang ada diatas dapat digambarkan menjadi model seperti pada gambar 4.12 dibawah ini:



Gambar 4.12 Model Simulink Matlab

Setelah melakukan simulasi maka mendapatkan grafik seperti pada gambar 4.13 berikut:

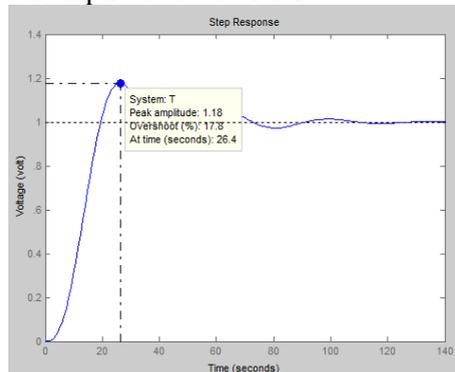


Gambar 4.13 Hasil Simulasi Step Response Matlab

Grafik hasil simulasi yang didapat diatas mengalami osilasi, tetapi setelah beberapa saat kemudian sistem akan stabil setelah set point tercapai. Dan dari grafik tersebut juga bisa mendapatkan spesifikasi respon.

a) Peak Time

Peak time adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai peak pertama dari overshoot. Berikut adalah gambar 4.14 yang menunjukkan hasil grafik peak time dari simulasi matlab. Terlihat pada grafik peak time sebesar 26.4 s dengan peak amplitude sebesar 1.18



Gambar 4.14 Hasil Peak Time dan Overshoot dari Grafik Step Response

b) Persen Overshoot (%OS)

Persen overshoot adalah nilai peak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu atau pengertian lainnya, jumlah gelombang yang melakukan overshoot terhadap steady state atau nilai akhir pada waktu puncak, diekspresikan dalam bentuk prosentase terhadap nilai steady state. Hasil overshoot dapat dilihat dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.14 sebesar 17.8%. Jika diketahui nilai hasil simulasi grafik didapatkan $C_{max} = 0.114$, dan $C_{final} = 0.0952$, maka bisa didapatkan nilai %OS dari perhitungan yaitu :

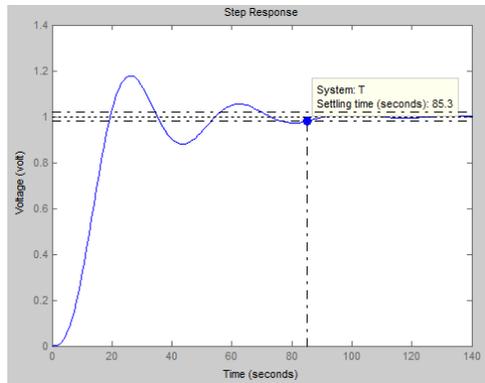
$$\%OS = \frac{C_{max} - C_{final}}{C_{final}} \cdot 100\%$$

$$\%OS = \frac{1.18 - 1}{1} \cdot 100\%$$

$$= 18 \%$$

c) Settling Time

Settling time adalah waktu yang diperlukan untuk tetap di dalam sebuah range nilai akhir yang ditetapkan oleh presentase absolut dari nilai akhir (biasanya sebesar 2%) dengan kata lain besarnya waktu yang diperlukan oleh osilasi teredam untuk bertahan pada $\pm 2\%$ nilai akhir. Ditunjukkan pada gambar 4.15 sebesar 85.3 s



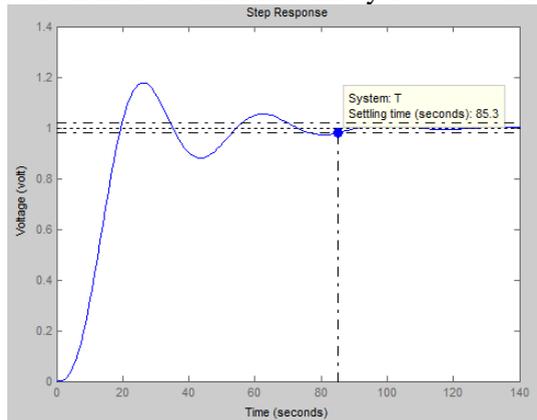
Gambar 4.15 Hasil Settling Time dari Grafik Step Response

d) Rise Time

Rise time adalah waktu yang diperlukan untuk naik dari 10-90%, 5-55% atau 0-100% dari nilai akhirnya.

- Untuk sistem underdamped : 0-100%
- Untuk sistem overdamped : 10-90%

Berikut ditunjukkan gambar 4.16 tentang hasil simulasi matlab untuk mencari nilai rise time yaitu sebesar 11.5 s



Gambar 4.16 Hasil Rise Time dari Grafik Step Response

Dari hasil simulasi diatas, diketahui bahwa nilai rise time, settling time, dan peak time memberikan informasi mengenai kecepatan dan kualitas respon transien yang baik. Besaran – besaran ini menunjukkan kecepatan yang diinginkan tanpa osilasi atau overshoot yang berlebihan.

4.5 Analisa Controlability dan Observability Menggunakan State Space Equation

Sistem kendali memiliki sifat-sifat yaitu Controlability (Keterkontrolan) dan Observability (Keteramatan). Sifat-sifat ini harus terlebih dahulu diketahui sebelum perancangan kendali dilakukan. Keterkontrolan dan keteramatan dapat ditinjau dari rank matriks dimensi suatu sistem. Rank matriks menunjukkan jumlah basis matriks yang independen satu sama lain. Rank matriks ditinjau dari basis kolom dan baris. Semakin besar jumlah rank, maka semakin banyak basis matriks yang independen. Rank matriks dapat bernilai nol apabila hasil determinannya adalah nol, artinya seluruh basis matriks baik kolom maupun baris memiliki ketergantungan satu sama lain. Untuk mendapatkan controlability dan observability, maka transfer function yang diperoleh dari diagram blok harus dirubah menjadi persamaan state space terlebih dahulu sehingga :

$$\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)}$$

$$\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = \frac{0.00342}{s^3 + 0.1882 s^2 + 0.039 s + 0.00342}$$

menjadi,

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -0.00342 & -0.039 & -0.1882 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0.00342 \end{bmatrix} r$$

$$y = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

Persamaan state space yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya kemudian diperiksa controlability dan observeability nya melalui matlab dan menghasilkan:

```
T =
-----
0.00342
-----
s^3 + 0.1882 s^2 + 0.039 s + 0.00342
Continuous-time transfer function.

Controllable Matrix is Qc =
      0      0      0.0034
      0      0.0034     -0.0006
0.0034     -0.0006     -0.0000

Given System is Controllable.
Observable Matrix is Qb =
      1      0      0
      0      1      0
      0      0      1

Given System is Observable.
```

Gambar 4.17 Hasil Controlability dan Observability Menggunakan State Space

Selain menunjukkan transfer function sistem, gambar 4.17 juga menunjukkan bahwa matriks keterkontrolan (Q_c) dan matriks keteramatan (Q_b) terdiri dari matriks dengan dimensi 3×3 , yang berarti memiliki rank (n) = 3. Sistem merupakan third order system yang berarti memiliki rank orde sistem yang sama dengan rank dari matriks keterkontrolan dan keteramatan, yaitu rank (n) = 3. Sehingga sistem dapat disimpulkan dapat dikontrol (controllable) dan dapat diamati (observable).

4.6 Analisa Kestabilan Sistem dengan Metode Routh Hurwitch

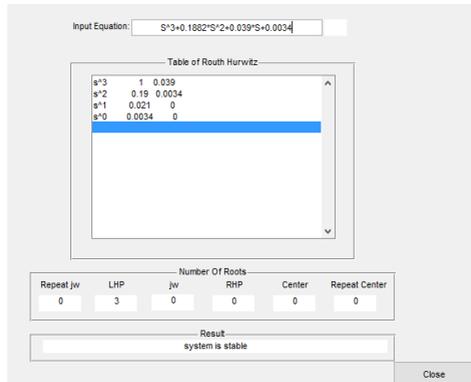
Kriteria kestabilan routh-hurwitz merupakan kriteria kestabilan yang menyatakan kestabilan yang menyatakan kestabilan absolut suatu sistem kontrol. Dimana pada analisa kestabilan absolut routh hurwitch menunjukkan ada atau tidaknya akar-akar dari persamaan karakteristik pada sistem yang terletak pada sisi sebelah kanan S-plane. Dari diagram blok sistem mesin *press* panas pneumatik didapatkan transfer functionnya sebesar :

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{0.00342}{s^3 + 0.1882 s^2 + 0.039 s + 0.00342}$$

Dalam menganalisa kestabilan ini digunakan kriteria kestabilan routh hurwitch, dari transfer funtion diatas dapat dicari menggunakan rumus 2.7 sehingga disusun koefisien polinomial menjadi

S^3	1	0.039
S^2	0.1882	0.0034
S^1	0.021	0
S^0	0.0034	0

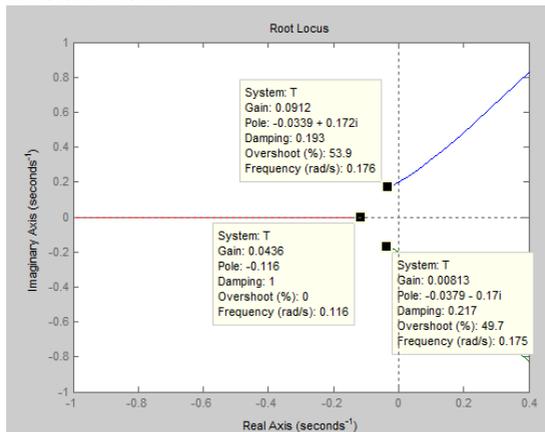
Pada kolom 1 tidak terjadi sama sekali perubahan tanda (semua positif) maka sistem dapat dikatakan stabil. Dapat juga dibuktikan dengan bantuan software matlab seperti pada gambar 4.18



Gambar 4.18 Hasil dari Analisa Routh Hurwitch

4.7 Analisa Kestabilan Sistem dengan Metode Root Locus

Kriteria kestabilan menurut root locus adalah merupakan metode untuk menganalisis kestabilan suatu sistem terkendali. Akar-akar ini sering disebut kutub. Sistem itu akan stabil jika letak kutub berada di sebelah kiri sumbu imaginary. Berikut hasil dari analisa root locus ditunjukkan pada gambar 4.19 yang menunjukkan sistem stabil

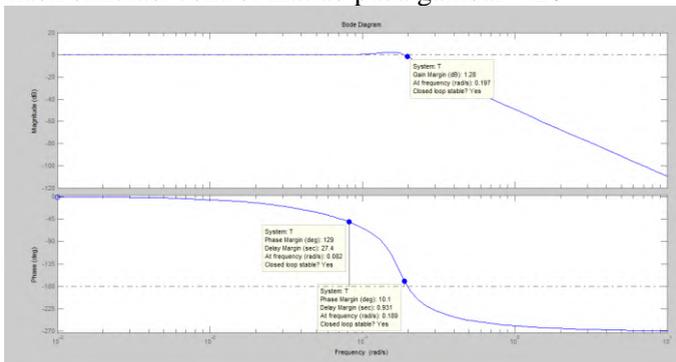


Gambar 4.19 Hasil dari Analisa Root Locus

Dari grafik tersebut dapat dilihat akar-akar karekeristiknya sebesar $S1 = -0.0339 + 0.172i$, $S2 = -0.0379 - 0.171i$, dan $S3 = -0.116$ sehingga dapat dikatakan sistem stabil karena semua akarnya berada di sebelah kiri sumbu imaginary.

4.8 Analisa Kestabilan Sistem Metode Nyquist dengan Bode Plot

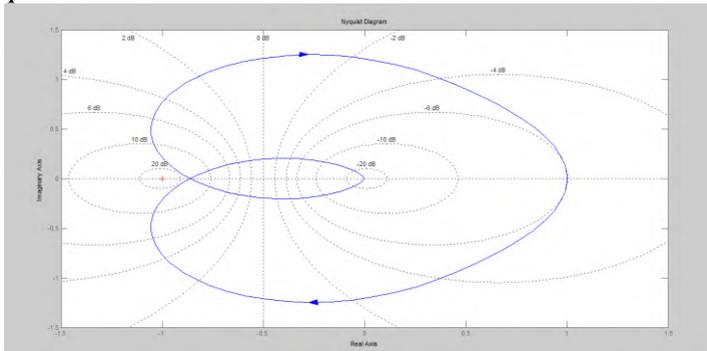
Kriteria kestabilan Nyquist adalah kriteria kestabilan yang merelasikan respon frekuensi dari lup dan sangat berguna dalam teknik control karena kestabilan mutlak sistem lup tersebut dapat ditentukan secara grafis dari kurva respon frekuensi lup sehingga terlebih dahulu mencari bode plot. Untuk mengetahui respon frekuensi yang terjadi dalam sistem setelah mendapatkan transfer function diatas, maka dapat menunjukkan Bode diagram yang merupakan respon terhadap suatu input yang ditunjukkan dari hasil simulasi control matlab pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Hasil Bode Plot

Yang dimaksudkan bode plot pada gambar 4.21 adalah untuk mengetahui hubungan magnitudo (db) dan sudut phase (deg) dimana nilai tersebut bisa digunakan untuk menganalisa dengan menggunakan metode diagram nyquist. Diagram nyquist adalah diagram polar yang menyatakan kestabilan system dengan batasan tidak boleh mencakup nilai -1. Dari hasil sistem control tersebut maka bisa dinyatakan sistem dalam kondisi yang stabil.

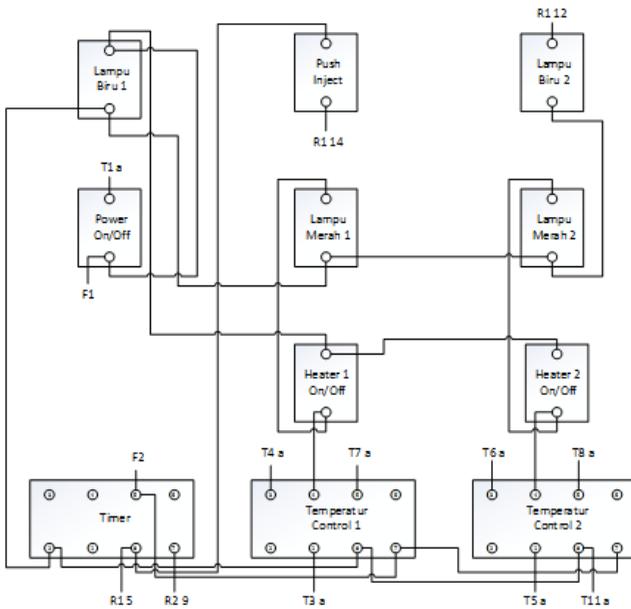
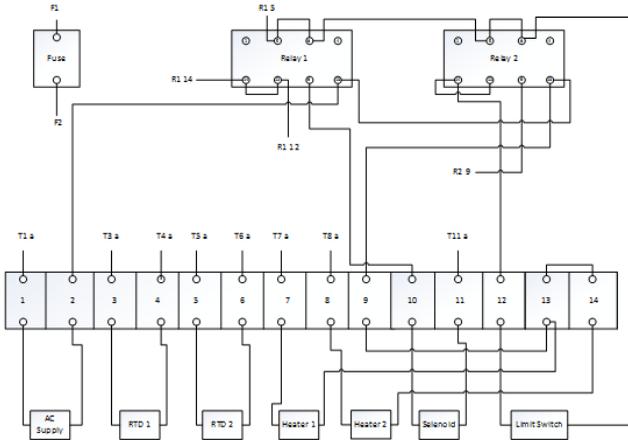
Berikut gambar 4.21 yang menunjukkan hasil kestabilan kontrol mesin *press* panas pneumatik dengan hasil diagram nyquist:



Gambar 4.21 Hasil Diagram Nyquist

Sehingga bisa dinyatakan bahwa sistem kontrol temperatur yang terdapat pada mesin *press* panas pneumatik dikatakan stabil karena dilihat dari gambar 4.20 bahwa diagram nyquistnya tidak mencakup -1.

LAMPIRAN 1 WIRING DIAGRAM



LAMPIRAN 2 RELAY

OMRON

General-purpose Relay

MY

An Improved Miniature Power Relay with Many Models for Sequence Control and Power Applications

- A wide range of relay variations including ones with operation indicators, high-capacity capability, built-in diodes, etc.
- Arc barrier standard on 3- and 4-pole relays.
- Withstand voltage: 2,000 VAC.

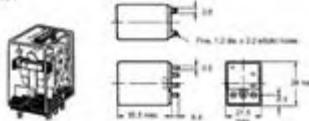


Dimensions

Note: All units are in millimeters unless otherwise indicated.

■ Relays with Solder Terminals

MY1

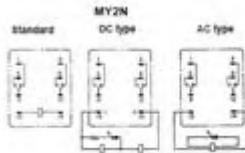
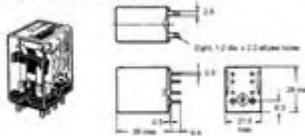


Terminal arrangement/internal connections (bottom view)

MY1

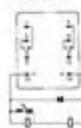


MY2, MY2-TU, MY2N, MY2N-D2



- Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnection self-diagnostic function.
2. Pay due attention as DC type has polarity.

MY2N-D2



LAMPIRAN 3 TIMER

ANALOG TIMER

■ MULTI-ANALOG TIMER

MODEL		MA4N-A	MA4N-B	MA4N-C
Appearance				
W×H×D (mm)		48×48×94		
Function		Multi operation, Multi time		POWER ON DELAY, Multi time
Power voltage		24 - 240 V a.c./d.c. 50 - 60 Hz		
Operating voltage		±10 % of power voltage		
Power consumption		a.c.: Approx. 5.3 VA Max., d.c.: 2.5 W		
Time setting range		0.12 sec ~ 300 hours		
Min. signal amplitude		START Input, INHIBIT Input, RESET Input: Min. 20 mV		—
Input		<ul style="list-style-type: none"> • Non voltage input • Impedance in a short circuit: Max. 2 kΩ • Residual voltage in a short circuit: Max. 0.7 V d.c. • Impedance in open: Min. 100 kΩ 		
Control output	Contact	Specified time DPDT (2c)		Specified time SPDT (1c), Instantaneous time SPDT (1c)
Contact capacity		250 V a.c./5 A (Resistance load)		
Variation of operation time		Max. ±0.3 % (Rate against full scale)		
Setting error		Max. ±2 % ~ 0.05 sec		
Voltage error		Max. ±0.5 %		
Temperature error		Max. ±2 %		
Dielectric strength		2,000 V a.c. 50/60 Hz for 1minute		
Vibration	Malfunction	10 - 55 Hz double amplitude 0.75 ms		
	Durability	10 - 55 Hz double amplitude 0.5 ms		
Shock	Malfunction	100 % (Approx. 10 G)		
	Durability	300 % (Approx. 30 G)		
Life	Mechanical	Over 10 million operations (Open & Short frequency : 180 / min)		
	Electrical	Over 100,000 (250V a.c. 3 A load resistance)		
Ambient temperature & humidity		0 ~ 50 °C / 30 ~ 85 %R.H.		

LAMPIRAN 4 TEMPERATURE CONTROL



■ Safety information

Before you use, read safety precautions carefully, and use this product properly. The precautions described in this manual contain important contents related with safety, therefore, please follow the instructions accordingly. The precautions are composed of DANGER, WARNING and CAUTION.

⚠ DANGER

There is a danger of occurring electric shock in the input/output terminals so please never let your body or conductive substance is touched.

⚠ WARNING

- If there is a concern about a serious accident caused by a malfunction or abnormality of this product, please install an external protection circuit and device a scheme for preventing an accident.
- This product does not contain an electric switch or fuse, so the user needs to install a separate electric switch or fuse externally. (Fuse rating: 250V 0.5A)
- To prevent deflection or malfunction of this product, apply a proper power voltage in accordance with the rating.
- To prevent electric shock or malfunction of product, do not supply the power until the wiring is completed.
- Since this product is not designed with explosion-protective structure, do not use it any place with flammable or explosive gas.
- Do not disassemble, modify, repair or repair this product. This may be a cause of malfunction, electric shock or fire.
- Reassemble this product while the power is OFF. Otherwise, it may be a cause of malfunction or electric shock.
- If you use the product with methods other than specified by the manufacturer, there may be bodily injuries or property damages.
- There is a possibility of occurring electric shock so please use this product after installing it onto a panel while it is operating.

⚠ CAUTION

- The contents of this manual may be changed without prior notification.
- Before using the product you purchased, make sure that it is exactly what you ordered.
- Make sure that there is no damage or abnormality of the product during the delivery.
- Please do not use it in case of the time setting is 0. It may be a cause of its malfunction.
- Please turn the power off before changing the time setting, in case of changing the time setting while it is ON, please reset it.
- Do not use this product at any place with occurring corrosive (especially noxious gas or ammonia) or flammable gas.
- Do not use this product at any place with direct vibration or impact.
- Do not use this product at any place with liquid, oil, chemical substances, dust, salt or iron contents. (Use at Pollution level 1 or 2)
- Do not polish this product with substances such as alcohol or benzene. (Use neutral detergent.)
- Do not use this product at any place with a large inductive electricity or occurring static electricity or magnetic noise.
- Do not use this product at any place with possible thermal accumulation due to direct sunlight or heat radiation.
- Install this product at place under 2,000m in altitude.
- When the product gets wet, the inspection is essential because there is danger of an electric leakage or fire.
- If there is excessive noise from the power supply, using insulating transformer and noise filter is recommended. The noise filter must be attached to be a panel grounded, and the wire between the filter output side and power supply terminal must be as short as possible.
- If putting the power cables closely together then it is effective against noise.
- Do not connect anything to the unused terminals.
- After checking the polarity of terminal, connect wires at the correct position.

- When this product is connected onto a panel, use a circuit breaker or switch approved with IEC60471 or IEC60470.
- Install a circuit breaker or switch at near place for convenient use.
- Write down on a label that if the circuit breaker or switch is operating then the power will be disconnected since the circuit breaker or switch is installed.
- For the continuous and safe use of this product, the periodical maintenance is recommended.
- Some parts of this product have limited life span, and others are changed by their usage.
- The warranty period for this product including parts is one year if this product is properly used.
- When the power is on, the preparation period of contact output is required. In case of using signals of external interlock circuit or etc, use it with a delay relay.

■ Model and Suffix code

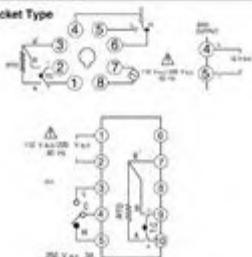
Model	Suffix Code	Description
ND4		Non-Display Temperature Controller
Adjusting Action	F	2-Function Control (ON/OFF)
	T	Time-Driven Proportion
Input	K	Thermocouple K Input
	J	Thermocouple J Input
	P	RTD Input (Pt1000)
Control Output	M	Relay Output
	S	Voltage Pulse (20V ± 1)
Control Action	D	Reverse Action Control (at Heating Control)
Range Code		Standard Range Code Number Selection

■ Standard Scale Range

Power Supply	Input	Temperature Range(°C)	Power Supply	Input	Temperature Range(°C)
1	Pt	-50 ~ 50	4	Pt, K	0 ~ 100
2	Pt	-100 ~ 100	5	Pt, K	0 ~ 200
3	Pt	0 ~ 100	6	Pt, K	0 ~ 300

■ Wiring Diagram

■ Socket Type



LAMPIRAN 5 RTD

Intech Temperature Probes

RFP

RTD Food Probes

www.intech.co.nz/rfp

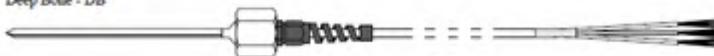
General Specifications:

- RTD Pt100 DEN standard element
- Temperature range from -30°C to +180°C
- Varying sheath materials
- Various RTD transmitters are also available to suit your particular application



Deep Bone with Ring Handle - DB-R

Deep Bone - DB



Intech Temperature Probes

RFP

RTD Food Probes

www.intech.co.nz/rfp

Item	Code	Specification
Deep Bone Probe		
Model	DB	
	DB-T	T-Bar Handle
	DB-R	140mm Ring Handle
Outer Diameter	6.4	Millimetres (Standard)
	X	Others
Sheath Length	150	Millimetres (Standard)
	(111)	Millimetres
Lead	C	3 Core Silicone 14/0.15 (-30/180°C)
	X	Others
Lead Length	7000	Millimetres (Standard)
	(111)	Millimetres
Fruit Probe		
Model	FP	
Outer Diameter	3.3	Millimetres (Standard)
	X	Others
Sheath Length	50	Millimetres (Standard)
	(111)	Millimetres
Lead	A	3 Core PVC 16/0.2 (-30/150°C)
	C	3 Core Silicone Rubber 14/0.15 (-30/180°C)
	X	Others
Lead Length	10000	Millimetres (Standard)
	(111)	Millimetres
Accessories	N	None
	W	Stainless Anchor Wire

LAMPIRAN 6 MESIN PRESS PANAS PNEUMATIK



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil rancangan yang telah dibuat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perencanaan sistem pneumatik yang simulasikan pada software fluidsim dan rangkaian temperatur kontrol pada software EWB dapat berjalan sesuai yang diinginkan sehingga dapat diaplikasikan menjadi penentuan wiring diagram (lampiran 1) dan penentuan pemilihan komponen (lampiran 3-5) untuk pembuatan kontrol mesin press panas pneumatik (lampiran 6).
2. Sistem kontrol temperatur pada mesin press panas pneumatik mempunyai transfer function:

$$\frac{Vo(s)}{Vi(s)} = \frac{0.00342}{s^3 + 0.1882s^2 + 0.039s + 0.00342}$$

3. Sistem kontrol pada mesin press panas pneumatik mempunyai peak time sebesar 26.4s, overshoot 17.8%, settling time 85.3s dan rise time sebesar 11.5s.
4. Sistem kontrol mesin press panas pneumatik dalam keadaan stabil absolut setelah dianalisa dengan kestabilan routh hurwitch dan root locus. Hal ini ditunjukkan pada analisa routh hurwitch kolom tidak terjadi perubahan tanda (semua positif) maka sistem dapat dikatakan stabil. Dari grafik root locus dapat dilihat akar-akar karakteristiknya sebesar $S1 = -0.0339 + 0.172i$, $S2 = -0.0379 - 0.17i$, dan $S3 = -0.116$ sehingga dapat dikatakan sistem stabil karena semua akarnya berada di sebelah kiri sumbu imaginary.

5.2 **Saran**

1. Setelah dilakukan percobaan, mesin press panas pneumatik membutuhkan waktu yang cukup lama untuk melakukan pemanasan pada cetakan. Untuk penelitian berikutnya dapat ditambahkan PID untuk mengatur time response.
2. Pada simulink, disturbance seperti getaran dan noise dari mesin press panas pneumatik diabaikan. Untuk penelitian berikutnya diharapkan disturbance yang ada dilibatkan untuk mengetahui pengaruh disturbance terhadap sistem kontrol.
3. Temperatur kontrol dan pressure regulator analog dapat diganti dengan dengan digital agar lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Esposito, Anthony. 2016. "Fluid Power with Applications (7th Edition)."
- Irianto, Nur Nugroho. 2010. "Analisa Konstruksi Dan Kontrol Pada Mesin Hot Press Berbasis PLC Dengan Sistem Pneumatik."
- Johnson, Curtis D. 2005. Process Control Instrumentation Technology. 8th edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Nise, Norman S. 2014. Control Systems Engineering. 7 edition.
- Ogata, Katsuhiko. 2016. "Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 2."
- Rusmadi, Dedy. 2016. "Mengenal Teknik Elektronika."

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Pelaihari pada tanggal 14 Agustus 1993 dengan nama Reddy Berto Alfianto atau biasa dipanggil Reddy. Penulis pernah menempuh Pendidikan formal di SDN 1 Barabai, SMPN 13 Surabaya, dan SMAN 6 Surabaya dengan bidang studi IPA. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan di Program Studi D3 Teknik Mesin bidang studi Manufaktur di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011. Saat duduk di bangku kuliah, penulis pernah menjalankan amanah sebagai asisten laboratorium Mekatronika pada tahun 2013 – 2014. Selain dibidang akademik, penulis juga aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI – ITS sebagai Staff Departemen Humas pada tahun 2012 – 2013, Ketua Himpunan Mahasiswa pada tahun 2013 – 2014, serta menjadi Pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa pada tahun 2012 – 2014.

Penulis memiliki ketertarikan terhadap teknologi terbaru, dan memiliki cita – cita menjadi entrepreneur atau technopreneur. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: redy.berto.alf@gmail.com