

SKRIPSI

**PEMODELAN SIMULINK BOILER DRUM PADA ALAT BOILER
HEATING BATCHING CONTROL TRAINER (MODEL : SE 107)**

OLEH :

ILHAM MAULANA

D411 14 303



DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN SIMULINK BOILER DRUM PADA ALAT BOILER
HEATING BATCHING CONTROL TRAINER (MODEL : SE 107)**

Disusun dan diajukan oleh :

ILHAM MAULANA

D411 14 303

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 14 Juli 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof.Dr.Ir. H.Andani Achmad, M.T.

NIP. 19601231 198703 1 022

Ir. Christoforus Y, M.T.

NIP. 19600716 198702 1 002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr.Eng.Ir. Dewiani, M.T.

NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Ilham Maulana
NIM : D41114303
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pemodelan Simulink Boiler Drum Pada Alat Boiler Heating Batching Control Trainer (Model : SE 107)

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 14 Juli 2021

Yang Menyatakan



Ilham Maulana

ABSTRAK

Boiler Drum pada Alat Boiler Heating Batching Control Trainer (Model : Se 107) merupakan bagian paling penting untuk penelitian mengenai proses mengubah liquid dari air menjadi uap dan pengontrolan level boiler drum. Untuk mendukung penelitian tersebut maka perlu dilakukan pemodelan. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan boiler drum dalam bentuk Simulink dengan menggunakan metode pengumpulan data berupa observasi dan studi literatur dan akan diuji dengan cara membandingkan hasil pengambilan data pada alatnya. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa hasil simulasi Simulink untuk suhu dan tekanan sudah mirip dengan hasil pengambilan data pada alatnya dengan level pengujian boiler drum sebesar 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. untuk simulasi Simulink pada pengontrolan level boiler drum didapatkan hasil yang sesuai teori.

Kata kunci : *boiler drum, alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107), Simulink, Suhu, Tekanan, Level, Pengontrolan level Boiler*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanu wata'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah sallallahu 'alaihi wasallam. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis persembahkan skripsi sederhana ini agar menjadi sebuah kebanggaan bagi kedua orang tua. Kedua orang tua peneliti yang dengan setulus hati, keikhlasan jiwa, butiran doa dan keringat jerih payahnya dalam membesarkan dan mendidik ananda. Semoga kalian berdua selalu diberi umur panjang dan senantiasa dikaruniai kesehatan.

Skripsi ini berjudul *Pemodelan Simulink Boiler Drum pada Alat Boiler Heating Batching Control Trainer (MODEL : SE 107)*. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.

2. Ibu **Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak **Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad, MSEE** selaku kepala Lab Sistem Kendali dan Instrumentasi yang telah membimbing dan memfasilitasi kami selama pengerjaan skripsi ini mulai dari pengajuan proposal hingga sampai ke tahap ujian akhir.
4. Bapak **Prof.Dr. Ir.H.Andani Achmad, M.T.**, selaku pembimbing I dan bapak **Ir. Cristoforus Y, M.T.**,selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan.
6. Seluruh rekan-rekan anggota "*LSKI*" yang memberi warna dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Kepada saudara seperjuangan "*Rectifier 2014*" Departemen Teknik Elektro yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini telah menjadi saudara bagi kami dengan keunikan tersendiri.
8. Kepada saudara Fajri Tawakkal Ali yang menjadi partner dalam pengerjaan TA pada tahap awal yang dimana menjadi masa sulit kami .

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk

kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi pendidikan dan masyarakat luas.

Makassar, 14 Juli 2021

Ilham Maulana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	6
2.1.1 Boiler	7
2.1.2 Differential Pressure Level Transmitter	8
2.1.3 Thermocouple Temperature Transmitter	11
2.1.4 Vortex Flowmeter Transmitter	12
2.1.5 <i>Orifice</i> Differential Pressure Transmitter	15
2.1.6 Global Type Valve	18
2.1.7 Solenoid Valve	20
2.1.8 Manual Valve	21
2.1.9 Pressure Transmitter	23
2.1.10 Pompa	24
2.1.11 Heater	25
2.1.12 Bourdon Tube	26
2.1.13 Thermometer Bimetal	27

2.2 PID Controller	29
2.2.1 Algoritma PID <i>Controller</i>	30
2.2.2 Ziegler–Nichols rules for tuning PID controller.....	30
2.3 Software MATLAB.....	35
2.3.1 Simulink.....	36
2.3.2 Pemodelan sistem dengan MATLAB Simulink	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1. Jenis dan Lokasi Penelitian	39
3.2. Sumber Data	39
3.3. Metode Pengumpulan Data	40
3.4 Diagram Alir Prosedur Penelitian	41
3.5 Perancangan Simulink Boiler pada Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	42
3.5.1 Tangki Preheater T-701	43
3.5.2 Tangki Boiler F-705.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	68
4.1 Pengujian Suhu padaTangki preheater T-701	68
4.1.1 Hasil Pengambilan data suhu pada tangki preheater T-701 dari alatnya	68
4.1.2 Pengujian data suhu tangki preheater T-701 menggunakan Simulink .	70
4.2 Pengujian suhu pada tangki Boiler drum F-705	75
4.2.1 Hasil Pengambilan data suhu pada Tangki Boiler drum F-705 dari alatnya.....	75
4.2.2 Pengujian data suhu tangki Boiler drum F-705 menggunakan Simulink	77
4.3 Pengujian data tekanan uap yang dihasilkan tangki Boiler drum F-705	82
4.3.1 Hasil Pengambilan data tekanan uap tangki boiler drum F-705 dari alatnya.....	82
4.3.2 Pengujian data tekanan uap pada tangki boiler drum F-705 menggunakan simulink	87
4.2.4 Pengontrolan Level Pada Tangki Boiler F-705	97
BAB V PENUTUP	104

5.1 Kesimpulan.....	104
5.2. Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	106
LAMPIRAN.....	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	6
Gambar 2.2 Boiler pada Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	7
Gambar 2.3 Differential Pressure Level Transmitter	8
Gambar 2.4 Port Differential Pressure Level Transmitter	9
Gambar 2.5 Pengukuran Perbedaan Pressure yang dibaca oleh <i>Capasitive Sensor</i> dan dikonversi oleh Transmitter ke Output 4-20 mA.	9
Gambar 2.6 Thermocouple Temperature Transmitter	11
Gambar 2.7 Typical Rangkaian Thermocouple	12
Gambar 2.8 Vortex Flowmeter Transmitter.....	12
Gambar 2.9 Prinsip Kerja Vortex Flowmeter.	13
Gambar 2.10 Orifice D/P Transmitter.....	15
Gambar 2.11 Prinsip Kerja <i>Orifice</i> D/P Flowmeter.....	16
Gambar 2.12 Perubahan sinyal pengukuran dari <i>Capasitive Sensor</i> ke sinyal 4-20 mA oleh Transmitter	17
Gambar 2.13 Global Type Valve dengan I/P Positioner.....	18
Gambar 2.14 Aktuator dari Global Valve	19
Gambar 2.15 Ilustrasi Aliran Fluida pada Global Valve.....	20
Gambar 2.16 Selenoid Valve	20
Gambar 2.17 Cara Kerja dari Selenoid Valve.....	21
Gambar 2.18 Konstruksi Dalam Ball Valve	22
Gambar 2.19 Konstruksi Dalam Gate Valve.....	23
Gambar 2.20 Pressure Transmitter.....	23
Gambar 2.21 Pompa pada Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	24
Gambar 2.22 Ruang Impeler dan Motor yang Berputar sehingga Menghisap sekaligus Mendorong Air Keluar	25
Gambar 2.23 Heater	25
Gambar 2.24 Bourdon Tube.....	26
Gambar 2.25 Bourdon Tube Type C.....	27
Gambar 2.26 Thermometer Bimetal	27

Gambar 2.27 Prinsip Kerja Thermometer Bimetal	28
Gambar 2.28 <i>Unit-step</i> respon dari sebuah <i>plant</i>	31
Gambar 2.29 kurva <i>S-shape response</i>	31
Gambar 2.30 Sistem closed-loop dengan proportional controller	33
Gambar 2.31 Osilasi berkelanjutan dengan P_{cr} periode (P_{cr} diukur dalam detik.)	34
Gambar 2.32 Simulink pada aplikasi MATLAB	37
Gambar 3.1 diagram alir prosedur penelitian.....	41
Gambar 3.2 skematik alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)	42
Gambar 3.3 Skematik Tangki Preheater T-701.....	43
Gambar 3.4 Simulink Tangki Preheater T-701	44
Gambar 3.5 Blok Slinder Gain Sebagai Manual Valve	44
Gambar 3.6 Subsistem Tangki T-701	45
Gambar 3.7 Penghitung Level Tangki T-701	46
Gambar 3.8 Settingan Overflow pada Blok Interpreted MATLAB Fcn OV	47
Gambar 3.9 Settingan Pelampung Pada Blok Interpreted MATLAB Fcn PL	48
Gambar 3.10 Penghitung Suhu pada Tangki T-701	49
Gambar 3.11 Settingan Batas Low Level Tangki T-701 Pada Blok Interpreted MATLAB Fcn LSL T-701	50
Gambar 3.12 Isi Subsistem dari TIC 701.....	51
Gambar 3.13 Settingan pada Blok Interpreted MATLAB Fcn ON/OFF Controller	51
Gambar 3.14 Subsistem dari Thermocouple Transmitter	52
Gambar 3.15 Simulink Penjumlahan Suhu T-701	53
Gambar 3.16 Simulink Lengkap Penghitung Suhu T-701	54
Gambar 3.17 Skematik Tangki Boiler F-705.....	55
Gambar 3.18 Simulink Tangki Boiler F-705	56
Gambar 3.19 Simulink Vortex Flowmeter.....	57
Gambar 3.20 Subsistem Simulink Vortex Flowmeter Transmitter.....	58
Gambar 3.21 Simulink Orifice DP Flowmeter Transmitter.....	58
Gambar 3.22 Subsistem Simulink Orifice Flowmeter Transmitter	59

Gambar 3.23 Simulink DP Level Transmitter	60
Gambar 3.24 Simulink Pressure Transmitter	60
Gambar 3.25 Simulink Global Valve (LCV-705).....	62
Gambar 3.26 Simulink Pengontrol Level LIC-705.....	64
Gambar 3.27 Simulink Pengontrol Flow FIC-701	65
Gambar 3.28 Simulink Tangki Boiler Drum F-705	65
Gambar 3.29 Simulink Penghitung Level Tangki Boiler Drum F-705.....	66
Gambar 3.30 Simulink Penghitung Suhu Tangki Boiler Drum F-705	67
Gambar 3.31 Simulink Penghitung Tekanan Tangki Boiler Drum F-705	67
Gambar 4.1 Hasil pengambilan data suhu tangki T-701 dimasukkan dalam blok simulink lookup table.....	70
Gambar 4.2 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 30 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	72
Gambar 4.3 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 30 cm dari Hasil Simulasi Simulink	72
Gambar 4.4 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 40 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	73
.....	73
Gambar 4.5 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 40 cm dari Hasil Simulasi Simulink	73
.....	74
Gambar 4.6 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 50 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	74
Gambar 4.7 Grafik Suhu tangki preheater T-701 pada level 50 cm dari Hasil Simulasi Simulink	74
Gambar 4.8 Hasil pengambilan data suhu tangki F-705 dimasukkan dalam blok simulink lookup table.....	77
Gambar 4.9 Grafik Suhu tangki Boiler drum F-705 pada level 30 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	79
Gambar 4.10 Grafik Suhu tangki Boiler drum F-705 pada level 30 cm dari Hasil Simulasi Simulink	79
Gambar 4.11 Grafik Suhu tangki Boiler drum F-705 pada level 40 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	80

.....	80
Gambar 4.12 Grafik Suhu tangki Boiler drum F-705 pada level 40 cm dari Hasil Simulasi Simulink	80
.....	81
Gambar 4.13 Grafik Tangki Boiler drum F-705 pada level 50 cm dari Hasil pengambilan data pada alatnya	81
Gambar 4.14 Grafik Suhu Tangki Boiler drum F-705 pada level 50 cm dari Hasil Simulasi Simulink	81
Gambar 4.15 Hasil pengambilan data tekanan tangki F-705 dimasukkan dalam blok simulink lookup table.....	88
Gambar 4.16 Grafik Hasil Pengambilan data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 30 cm.....	94
Gambar 4.17 Grafik Hasil simulasi Simulink data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 30 cm.....	95
Gambar 4.18 Grafik Hasil Pengambilan data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 40 cm.....	95
Gambar 4.19 Grafik Hasil simulasi Simulink data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 40 cm.....	96
Gambar 4.20 Grafik Hasil Pengambilan data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 50 cm.....	96
Gambar 4.21 Grafik Hasil simulasi Simulink data Tekanan uap tangki Boiler drum F-705 pada level 50 cm.....	97
Gambar 4.22 Grafik Hasil Pengontrolan menggunakan single element drum yang diberikan beban dengan membuka katup HV 745 selama 5 detik	98
Gambar 4.23 Hasil grafik pengontrolan boiler drum menggunakan single element drum dengan menaikkan set point ke 75 cm.....	99
Gambar 4.24 Grafik Hasil Pengontrolan menggunakan two element drum yang diberikan beban dengan membuka katup HV 745 selama 5 detik.....	100
Gambar 4.25 Hasil grafik pengontrolan boiler drum menggunakan two element drum dengan menaikkan set point ke 75 cm.....	101
Gambar 4.26 Grafik Hasil Pengontrolan menggunakan three element drum yang diberikan beban dengan membuka katup HV 745 selama 5 detik.....	102
Gambar 4.27 Hasil grafik pengontrolan boiler drum menggunakan three element drum dengan menaikkan set point ke 75 cm.....	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Experiment dari penentuan <i>strouhal number</i>	14
Tabel 2.2 Ziegler–Nichols <i>Tuning Rule</i> didasarkan pada <i>Step Response</i> Dari <i>Plant(First Method)</i>	32
Tabel 2.3 Ziegler–Nichols <i>Tuning Rule</i> didasarkan pada <i>Critical Gain</i> K_{cr} and <i>Critical Period</i> P_{cr} (<i>Detik Method</i>).....	34
Tabel 3.1 Hasil Konversi Sinyal Pressure Transmitter ke Satuan PSIG.....	61
Tabel 3.2 Hasil Konversi Tekanan Kontrol ke Posisi Katup	62
Tabel 4.1 Pengambilan data suhu pada Tangki preheater T-701 dari alatnya	69
Tabel 4.2 Perbandingan data suhu Tangki preheater T-701 antara hasil pengambilan data dari alatnya dengan hasil simulasi Simulink	71
Tabel 4.3 Kenaikan suhu perdetik pada tangki Boiler drum F-705	76
Tabel 4.4 Perbandingan data suhu Tangki Boiler drum F-705 antara hasil pengambilan data dari alatnya dengan hasil simulasi Simulink	77
Tabel 4.5 Hasil pengambilan data Tekanan uap pada tangki F-705 pada level 30 cm.....	82
Tabel 4.6 Hasil pengambilan data Tekanan uap pada tangki F-705 pada level 40 cm.....	84
Tabel 4.7 Hasil pengambilan data Tekanan uap pada tangki F-705 pada level 50 cm.....	85
Tabel 4.8 Perbandingan antara Hasil pengambilan data dengan Hasil simulasi Simulink pada tekanan uap tangki boiler drum F-705 pada level 30 cm.....	89
Tabel 4.9 Perbandingan antara hasil pengambilan data dengan hasil simulasi Simulink pada tekanan uap tangki boiler drum F-705 pada level 40 cm.....	90
Tabel 4.10 Perbandingan antara hasil pengambilan data dengan hasil simulasi Simulink pada tekanan uap tangki boiler drum F-705 pada level 50 cm.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini dalam dunia perkuliahan terutama dibidang teknik kontrol dan instrumentasi universitas hasanuddin, selain membutuhkan teori perkuliahan, juga membutuhkan alat laboratorium yang beberapa diantaranya didesain dengan standar industri yang berfungsi untuk menyelaraskan teori dengan praktek melalui praktikum dan riset dibidang ilmu teknik kontrol dan instrumentasi sehingga nantinya membekali mahasiswa dengan skill dan teori yang berguna pada ke jenjang selanjutnya ketika selesai terutama pada jenjang karir di dunia industri.

Salah satu alat laboratorium tersebut adalah alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) yang digunakan untuk mensterillkan liquid seperti susu, air minum, dan sari buah. Namun pada laboratorium kontrol dan instrumentasi, alat ini digunakan untuk penelitian, salah satu penelitiannya yaitu untuk mengamati proses pengontrolan level pada boiler drum.

Boiler adalah bejana atau tangki tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan menjadi uap. Energi panas dari uap air tersebut nantinya digunakan untuk proses sterilisasi dengan cara melakukan pertukaran panas dengan liquid yang akan disterilkan pada heat exchanger. Untuk memastikan kualitas dari uap yang dihasilkan maka dibutuhkan sistem pengontrolan untuk mengontrol level boiler drum. Pengontrolan level pada boiler drum dapat dilakukan dengan 3 jenis

pengontrolan, yaitu single element drum level control, two element drum level control, dan three element drum level control.

Untuk mendukung proses penelitian pengontrolan level pada boiler drum maka dibuatlah pemodelan boiler drum pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) dalam bentuk Simulink. Simulink akan diuji dengan hasil pengambilan data pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) untuk validasi data, sehingga didapatkan Simulink yang dapat melakukan simulasi yang sesuai dengan cara kerja boiler drum dan dapat melakukan proses pengontrolan level boiler drum dengan menggunakan single element drum level control, two element drum level control, dan three element drum level control yang sesuai dengan alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Pemodelan boiler drum pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) dalam bentuk simulink.
2. Bagaimana perbandingan hasil pengambilan data pada alatnya dengan hasil simulasi Simulink pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).
3. Bagaimana hasil simulasi Simulink pada pengontrolan level boiler drum menggunakan single element drum level control, two element drum level control, dan three element drum level control.

1.3 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas maka tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan boiler drum pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) dalam bentuk simulink.
2. Membandingkan hasil pengambilan data pada alatnya dengan hasil simulasi Simulink pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).
3. Mendapatkan hasil simulasi Simulink pada pengontrolan level boiler drum menggunakan single element drum level control, two element drum level control, dan three element drum level control.

1.4. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini sistem yang akan dibuat, dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Hanya melakukan pemodelan Simulink dari boiler drum pada alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).
- b. Pemodelan Simulink boiler drum dilakukan berdasarkan alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107), buku manual, dan gambar skematik dari alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).

1.5 Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara pencarian dan pengumpulan literatur-literatur yang berkaitan dengan masalah-masalah yang ada pada tugas akhir ini, baik berupa artikel, buku referensi, jurnal-jurnal, internet, dan sumber-sumber yang dapat menunjang penelitian.

b. Diskusi dan Konsultasi

Melakukan asistensi secara langsung kepada dosen pembimbing dan pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini.

c. Pembuatan Simulink

Melakukan pembuatan Simulink berdasarkan hasil studi literatur, diskusi, dan konsultasi.

d. Pengujian Simulink

Meliputi pengujian Simulink dengan hasil data yang diperoleh dari alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107).

e. Analisa hasil dan kesimpulan

Melakukan analisis dari hasil pengujian Simulink terhadap data yang didapatkan dari alat boiler heating batching control trainer (Model : Se 107) sehingga mendapatkan sebuah kesimpulan dari hal tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan tentang berbagai teori penunjang dan referensi lain yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang metode-metode yang digunakan dalam pemodelan simulink *boiler drum* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini berisi hasil perancangan dan penjelasan baik hardware dan software yang digunakan, dan analisa mengenai data-data yang diambil

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan hasil analisa yang dilakukan dan saran perbaikan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)



Gambar 2.1 Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)

Boiler heating batching control trainer (Model : SE 107) adalah sebuah alat yang proses dalam sistemnya berbasis pada fluida yang didesain sedemikian rupa untuk mensimulasikan proses pemanasan fluida dari *pre-heater* ke *boiler tank* kemudian uap yang dihasilkan dibuang ke atmosfer (jika di industri uapnya yang dipakai sebagai pemanas namun karena alat ini hanya simulasi dari alat industri maka cukup air dari pemanasan boiler yang dipakai sebagai pemanas) dan air dari pemanasan boiler dialirkan ke heat exchanger dan terjadi pertukaran panas antara fluida dari boiler dengan fluida pada tangki cold water dan hasil produksi

di simpan pada product tank. Sistem ini menunjukkan waktu respon yang *real waktu* berdasarkan instrument berstandar industri. Sistem ini memiliki fitur pengukuran level, pengukuran tekanan, pengukuran kecepatan aliran air, dan yang lainnya.

2.1.1 Boiler



Gambar 2.2 Boiler pada Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)

Umumnya sistem boiler memiliki beberapa sistem yaitu sistem bahan bakar, sistem air umpan, dan sistem uap. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap.

Sistem uap adalah sistem dimana uap yang dihasilkan dialirkan melalui sistem perpipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. [1]

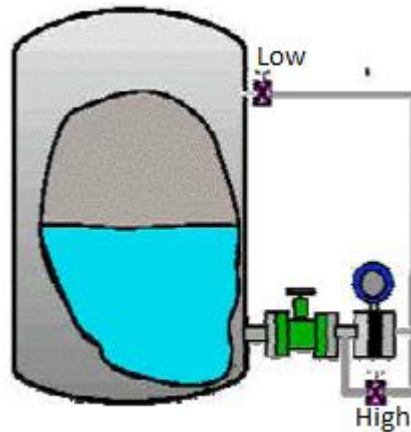
2.1.2 Differential Pressure Level Transmitter



Gambar 2.3 Differential Pressure Level Transmitter

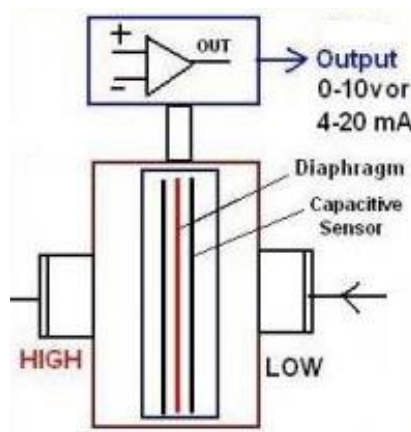
Cara kerja dari differential pressure level transmitter dalam mengukur level tangki yaitu dengan membandingkan tekanan dari kedua sisi *port* yaitu *port high pressure* dan *port low pressure* dimana *port high pressure* terletak dibagian bawah tangki dan *port low* diletakkan pada bagian atas tangki. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Level Diffrential Pressure} : \text{High Pressure} - \text{Low Pressure} \quad (2.1)$$



Gambar 2.4 Port Differential Pressure Level Transmitter

Hasil dari pengukuran level tersebut akan menghasilkan sinyal output 4-20 mA seperti ditunjukkan pada gambar untuk diterima oleh indikator, *recorder*, dan *controller*.



Gambar 2.5 Pengukuran Perbedaan Pressure yang dibaca oleh *Capacitive Sensor* dan dikonversi oleh Transmitter ke Output 4-20 mA.

Hasil dari persamaan 2.1 Hasil dapat dihitung menggunakan prinsip tekanan hidrostatis . Prinsip ini mengatakan bahwa pada setiap titik di dalam

fluida yang diam (statis), gaya yang bekerja padanya adalah sama untuk semua arah dan tidak tergantung pada volume fluida maupun bentuk ruang atau tempat dimana fluida berada, tetapi hanya bergantung pada tinggi kolom fluida di atas titik yang bersangkutan.

Persamaan Tekanan Hidrostatik dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

$$P_h = \rho g h \quad (2.2)$$

Dimana :

P_h = Tekanan Hidrostatik (N/m²).

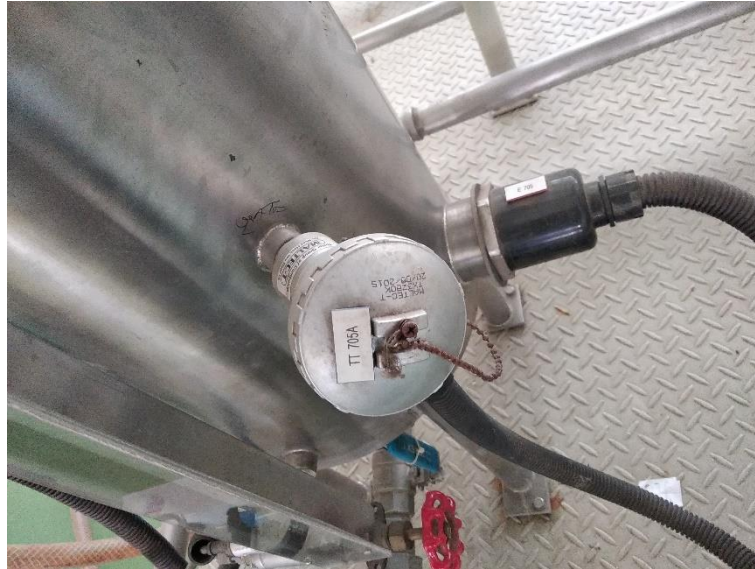
g = Percepatan gravitasi (m/s²).

h = tinggi zat fluida(m).

ρ = massa jenis fluida(kg/m³).

Aplikasi pengukuran level dengan menggunakan metode perbedaan tekanan atau tekanan hidrostatik telah mengalami kemajuan yang signifikan beberapa tahun lalu. Peralatan D/P ini memungkinkan untuk mengukur level dengan *range* yang lebar pada fluida yang bersih, korosif, *slurry*, dan viskositas tinggi. [2]

2.1.3 Thermocouple Temperature Transmitter



Gambar 2.6 Thermocouple Temperature Transmitter

Thermocouple adalah suatu sensor temperatur termoelektris yang terdiri dari dua kawat logam yang berlainan (misalnya chromel dan constantan) dengan penggabungannya pada probe tip (measurement junction) dan *reference junction* (temperature yang diketahui). Perbedaan temperatur antara *probe tip* dan *reference junction* dideteksi dengan mengukur perubahan tegangan voltage (electromotive force, EMF) pada *reference junction*. Pembacaan absolute temperature kemudian bisa diperoleh dengan kombinasi informasi dari temperatur acuan yang diketahui dengan perbedaan temperature antara probe tip dengan *reference*.



Gambar 2.7 Typical Rangkaian Thermocouple

Berdasarkan Gambar 2.7 diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$.^[3]

2.1.4 Vortex Flowmeter Transmitter



Gambar 2.8 Vortex Flowmeter Transmitter

Flowmeter ini dikenal juga sebagai *vortex shedding flowmeters* atau *oscillatory flowmeters*, prinsip kerjanya seperti gambar dibawah ini yang didasarkan pada pengukuran getaran (*vibration*) pada pusaran (*vortex*) fluida yang disebabkan oleh penghalang yang ditempatkan pada aliran fluida. Frekuensi getaran dari *vortex* dapat dihubungkan dengan laju aliran fluida.



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Vortex Flowmeter.

Pengukuran Vortex Flowmeter ini dapat dinyatakan dalam rumus matematika sebagai berikut ;

$$Q = \frac{f_v \pi D^3}{4 S} \left(\frac{w}{D} \right) \left(1 - \left(\frac{4}{\pi} \right) K \frac{w}{D} \right) \quad (2.3)$$

Dimana :

Q = flow aliran fluida (m³/s)

f_v = frekuensi dari pusaran aliran fluida (Hz).

D = diameter pipa (m).

S = *strouhal number* .

$K = k$ faktor.

K factor pada umumnya diperkenalkan untuk mengganti kerugian untuk profil yang tidak seragam dari pipa. Sedangkan *strouhal number* ditentukan secara eksperimen.

w/D	S
0.1	0.18
0.3	0.26
0.5	0.44

Tabel 2.1 Experiment dari penentuan *strouhal number*

Persamaan di atas mengasumsikan keadaan mantap (*steady state*) dari aliran pada getaran pusaran fluida. Gangguan pada getaran pusaran fluida akan mempengaruhi frekuensi dari *vortex* sehingga mengakibatkan kesalahan pengukuran.

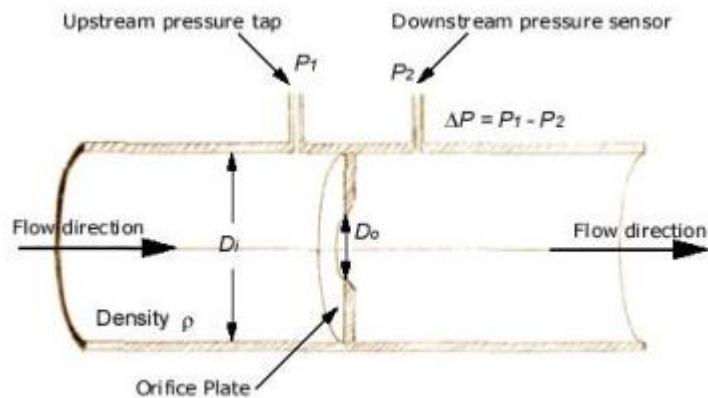
Hasil dari pengukuran frekuensi dari pusaran fluida yang disebabkan penghalang akan dibaca oleh sensor piezoelectric, force/strain, dll yang kemudian diubah menjadi output 4-20 mA oleh Transmitter. ^[4]

2.1.5 Orifice Differential Pressure Transmitter



Gambar 2.10 Orifice D/P Transmitter

Prinsip kerjanya seperti gambar 2.11, dimana suatu plate berlubang dimasukkan ke dalam pipa dan ditempatkan secara tegak lurus terhadap flow stream. Ketika fluida mengalir melewati *orifice plate* tersebut maka menyebabkan peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan. Perbedaan tekanan sebelum dan setelah *orifice plate* digunakan untuk mengkalkulasi kecepatan aliran fluida (*flow velocity*).



Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Orifice D/P* Flowmeter.

Prinsip ini didasarkan oleh persamaan kontinuitas dan persamaan bernoulli. Dari persamaan tersebut dapat diturunkan persamaan yang menghubungkan antara flow aliran (Q) dengan beda tekanan statis antara upstream dan downstream ($p_1 - p_2$). Sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$Q = C_f A_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.4)$$

Dimana :

Q = flow aliran fluida (m^3/s).

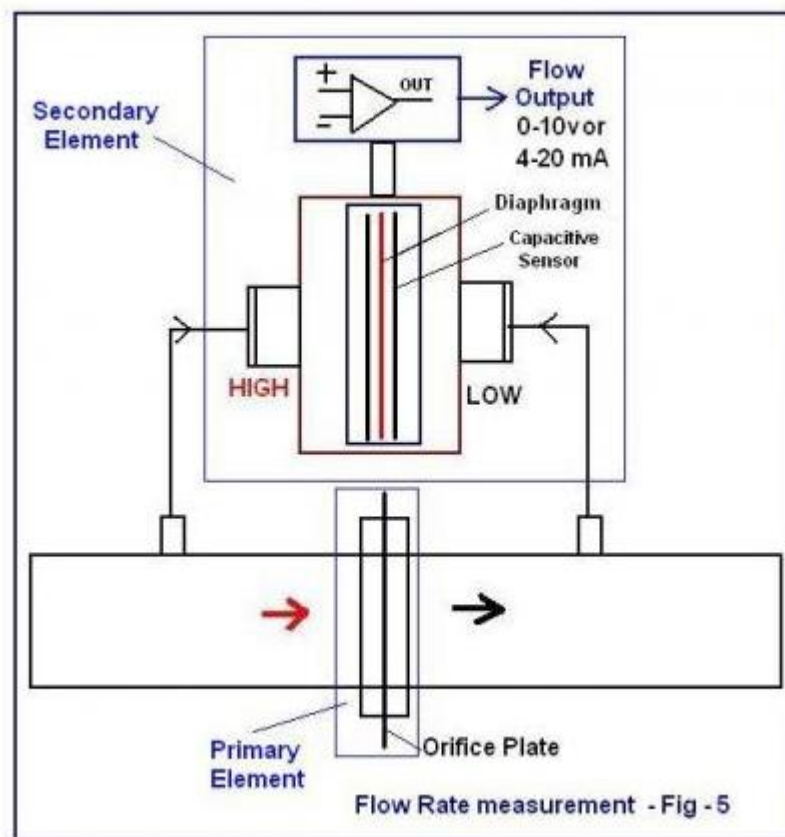
ρ = massa jenis fluida (Kg/m^3).

$\Delta P = P_1 - P_2$ = Perbedaan tekanan antara tekanan sebelum memasuki orifice dan tekanan setelah memasuki orifice plate.

A_o = Luas dari *orifice plate* (m^2).

C_f = koefisien dari flow

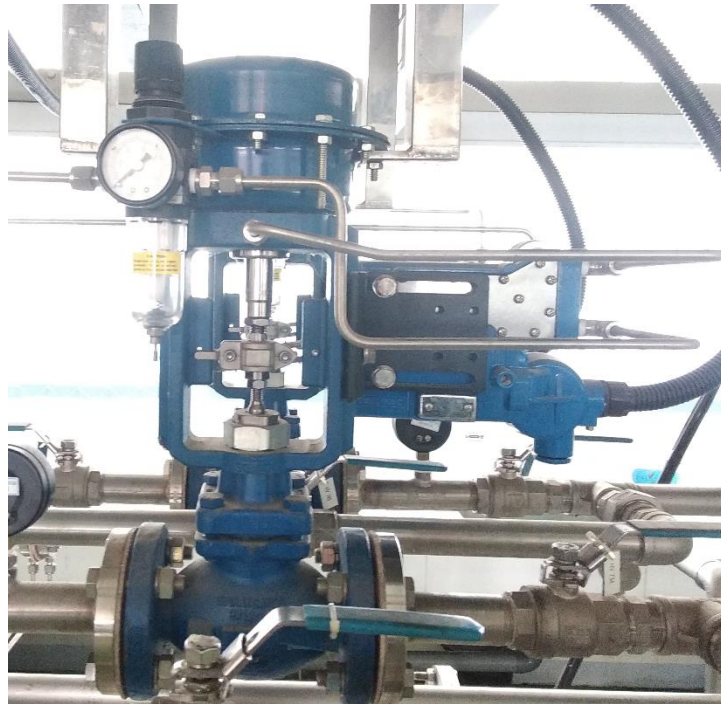
Flow coefficient (C_f) didapatkan dari eksperimen (dapat dilihat pada tabel yang sudah disusun pada buku-buku reference), nilai C_f terbentang dari 0.6 sampai 0.9 untuk kebanyakan jenis orifice. Oleh karena itu tergantung pada orifice dan diameter pipa (seperti halnya Reynolds Nomors). Biasanya di dalam tabel C_f adalah perbandingan diameter orifice dan diameter inlet pipa.



Gambar 2.12 Perubahan sinyal pengukuran dari *Capasitive Sensor* ke sinyal 4-20 mA oleh Transmitter

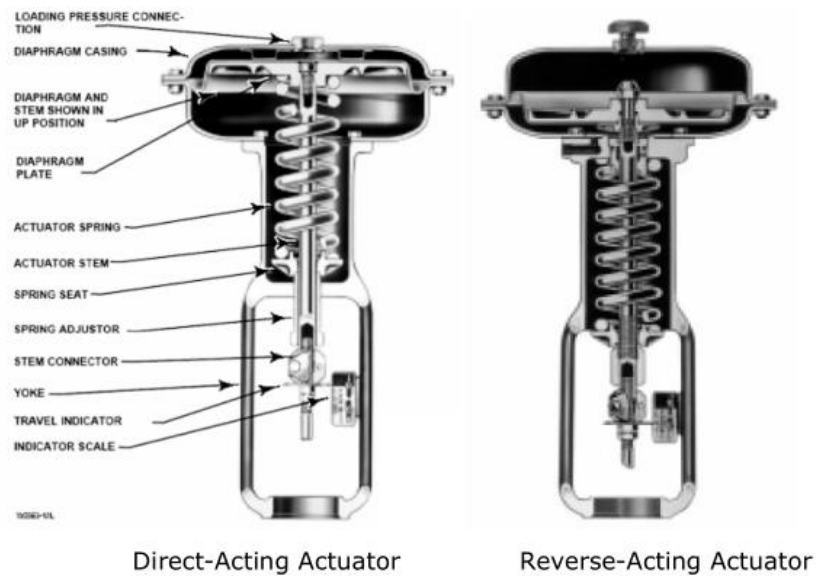
Hasil dari pengukuran level tersebut akan menghasilkan sinyal output 4-20 mA seperti ditunjukkan pada gambar untuk diterima oleh indikator, *recorder*, dan *controller*.^[5]

2.1.6 Global Type Valve



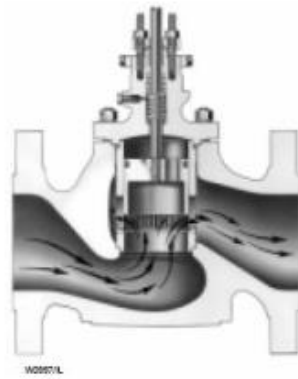
Gambar 2.13 Global Type Valve dengan I/P Positioner

Global valve adalah katub yang terbuka ketika ada *air supply* masuk yang kemudian menghasilkan tekanan pada diafragma *positioner* untuk membuatnya terangkat naik dan katub yang menutupi lajur aliran fluida pun ikut terbuka. Besar terbukanya katub tergantung dari sinyal yang dikirim oleh controller dengan besaran 4-20 mA yang kemudian dikonversi kedalam 3-15 psig oleh I/P positioner yang kemudian menjadi range terbukanya katub yang dimana 3 psig adalah kondisi katub tertutup dan 15 psig adalah kondisi terbuka penuh.



Gambar 2.14 Aktuator dari Global Valve

Besar masuknya aliran dari global valve dipengaruhi oleh koefisien valve sizing (C_v). Secara defenisi koefisien valve sizing (C_v) adalah jumlah gallon air (H_2O) per menit pada temperature $60\text{ }^\circ\text{F}$ yang mengalir melalui suatu valve pada posisi terbuka penuh dengan pressure drop sebesar 1 psig. Semakin besar koefisien valve sizing maka semakin besar flow yang mengalir pada global valve.^[6]



Gambar 2.15 Ilustrasi Aliran Fluida pada Global Valve

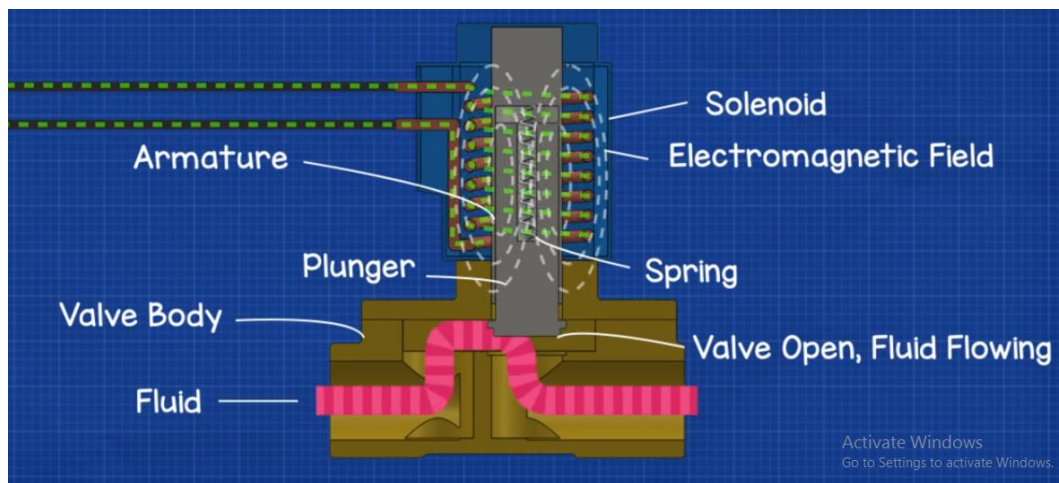
2.1.7 Selenoid Valve



Gambar 2.16 Selenoid Valve

Prinsip kerja selenoid valve ditunjukkan pada gambar 2.16 dimana katub akan terbuka atau tertutup ketika ada arus listrik AC yang mengalir pada kumparan. Kumparan tersebut akan menghasilkan torsi dari medan elektromagnetik yang akan menarik naik atau turun pegas yang terhubung pada

katub. Ketika pegas yang terhubung dengan katub tersebut naik maka katub akan terbuka dan ketika tidak ada arus yang mengalir pada kumparan, maka pegas yang terhubung dengan katub tersebut akan menutup. Jenis katup ini adalah jenis normally closed, sedangkan untuk normally open adalah kebalikan dari normally closed yaitu katub akan tertutup ketika dialiri arus listrik dan akan terbuka ketika kumparan berhenti dialiri arus listrik.

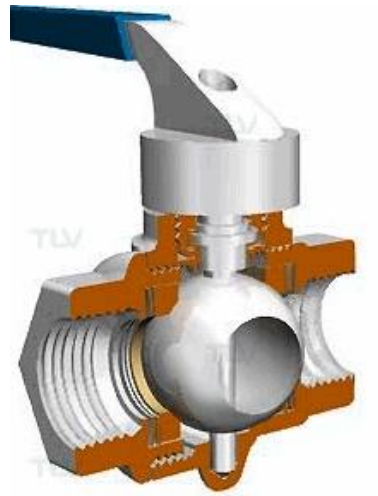


Gambar 2.17 Cara Kerja dari Solenoid Valve

2.1.8 Manual Valve

Manual valve ini terbuka atau tertutup dengan bantuan manusia sebagai aktuator dari valve tersebut. Ada dua jenis manual valve yang digunakan pada alat ini yaitu ball valve dan gate valve.

2.1.8.1 Ball Valve



Gambar 2.18 Konstruksi Dalam Ball Valve

Ball Valve bekerja seperti gambar dimana ketika kondisi katub terbuka maka fluida akan masuk ke lubang yang terbuka dari ball valve dan ketika katup dalam kondisi tertutup maka fluida akan tertahan oleh sisi tertutup dari ball valve.

2.1.8.2 Gate Valve

Prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar yaitu ketika katup diputar ke arah terbuka maka katub akan terangkat naik dan membiarkan fluida melewatinya dan sebaliknya ketika katup diputar tertutup maka katub akan turun sampai menutupi laju dari fluida.



Gambar 2.19 Konstruksi Dalam Gate Valve

2.1.9 Pressure Transmitter



Gambar 2.20 Pressure Transmitter

Pressure transmitter merupakan alat yang berguna untuk mengubah perubahan sensing element dari sebuah sensor menjadi sinyal yang mampu diterjemahkan oleh controller. Transmitter sendiri pasti berhubungan antara satu sama lainnya dengan komponen sensor. Sensor yang berguna untuk mengukur

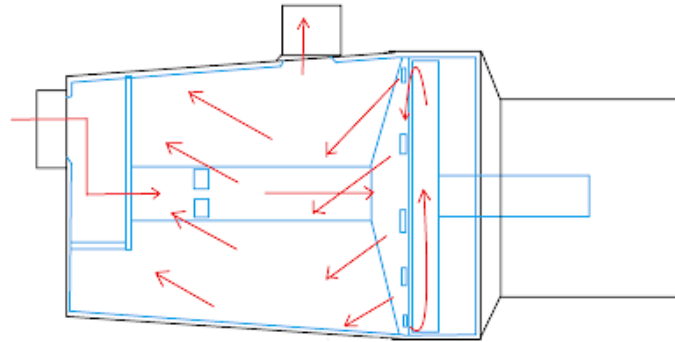
besaran tekanan akan memberikan keluaran berupa sinyal elektrik yang selanjutnya oleh transmitter akan dikirim menuju controller. Standar sinyal output transmitter adalah 3 sampai 15 psig (0,2 – 1 kg/cm²), 4 – 20 mA ataupun 1 sampai 5 Volt.^[7]

2.1.10 Pompa



Gambar 2.21 Pompa pada Alat Boiler heating batching control trainer (Model : Se 107)

Perhatikan Gambar 2.21 , prinsip kerja pompa yaitu air akan terisap masuk ke ruang impeler dimana motor berputar akan membulkan tekanan yang menghisap masuk air. Air yang terisap tersebut kemudian terdorong keluar akibat tekanan putaran motor yang terus menyedot air masuk ke ruang impeler.



Gambar 2.22 Ruang Impeler dan Motor yang Berputar sehingga Menghisap sekaligus Mendorong Air Keluar

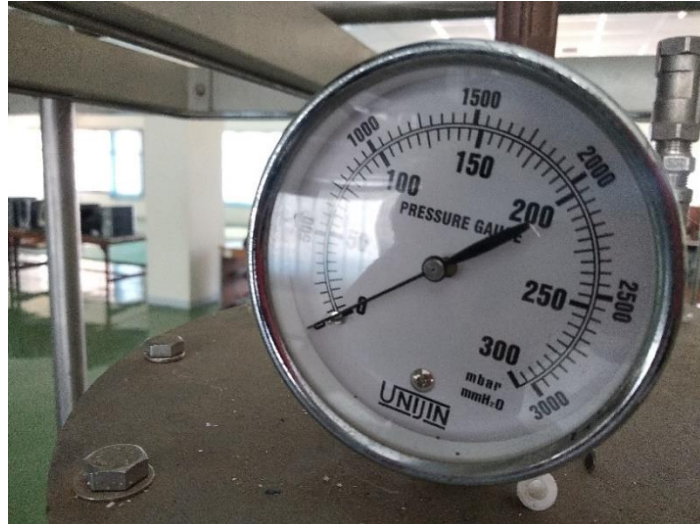
2.1.11 Heater



Gambar 2.23 Heater

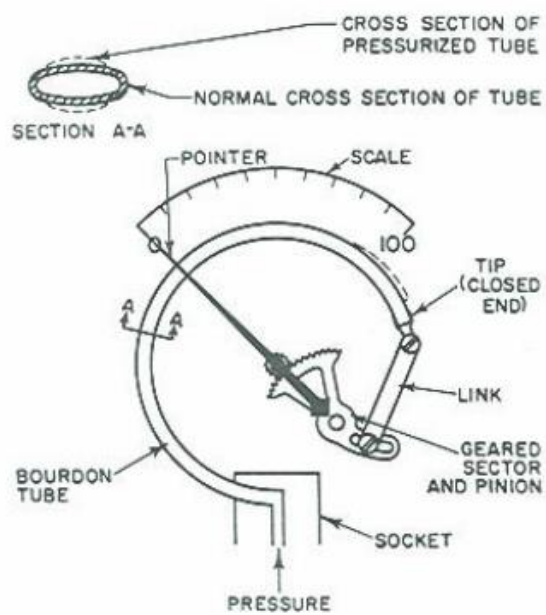
Heater merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses Joule Heating. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen.

2.1.12 Bourdon Tube



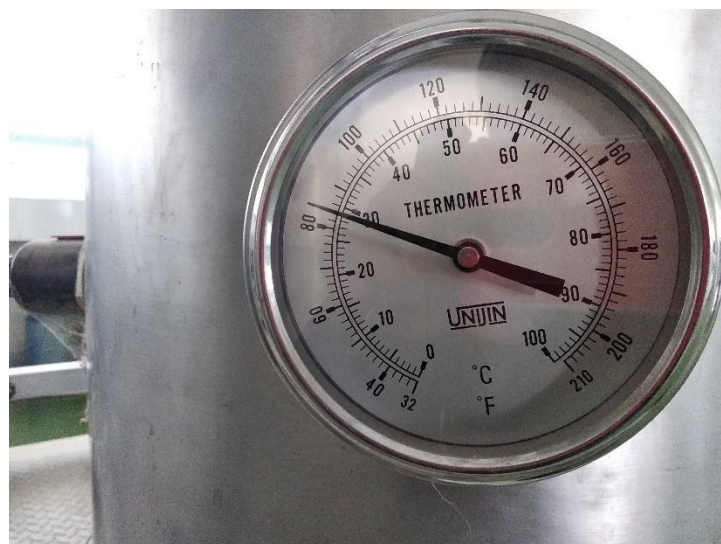
Gambar 2.24 Bourdon Tube

Bourdon Tube adalah alat ukur tekanan nonliquid. Alat ukur ini secara luas digunakan didalam industri proses untuk mengukur tekanan statis pada beberapa aplikasi. Bentuk dari bourdon tube dari element C-type dihubungkan secara mekanikal dengan jarum indikator seperti pada gambar . Prinsip operasinya yaitu tekanan dipandu ke dalam tabung, perbedaan tekanan di dalam dan di luar tabung bourdon akan menyebabkan perubahan bentuk penampangnya (bourdon tube). Perubahan bentuk penampang akan diikuti perubahan bentuk arah panjang tabung, dimana perubahan panjang tabung akan dikonversikan menjadi gerakan jarum penunjuk pada skala.



Gambar 2.25 Bourdon Tube Type C

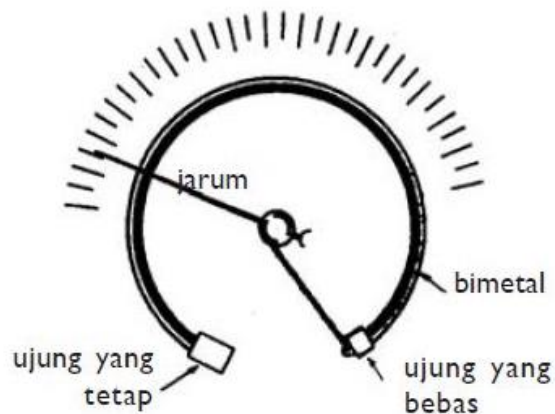
2.1.13 Thermometer Bimetal



Gambar 2.26 Thermometer Bimetal

Prinsip kerja bimetal menggunakan konsep pemuaian, khususnya muai panjang. Jadi, bimetal peka terhadap perubahan suhu. Jika keping bimetal dipanaskan atau dinaikan suhunya, maka akan melengkung ke arah logam yang memiliki angka koefisien muai panjangnya kecil. Bila didinginkan, keping bimetal akan melengkung ke arah logam yang angka koefisien muai panjangnya besar.

Thermometer bimetal sendiri terbuat dari alat bimetal yang melengkung. Pada salah satu ujung alat ini akan dijepit agar tidak dapat bergerak. Ujung yang satu lagi bergerak dan terhubung dengan jarum penunjuk. Jika suhu naik, maka bimetal akan menjadi lebih melengkung. Jarum penunjuk akan bergerak ke kanan, dan sebaliknya ketika suhu sudah mulai turun bimetal menjadi lebih lurus dan membuat jarum kembali bergerak ke arah kiri. Seperti gambar 2.26 .



Gambar 2.27 Prinsip Kerja Thermometer Bimetal

2.2 PID Controller

Kontroler PID adalah bentuk umpan balik yang paling umum. Itu adalah elemen penting dari gubernur awal dan ini menjadi alat standar saat itu. Kontrol proses muncul di tahun 1940an. Dalam proses kontrol hari ini, lebih dari 95% dari loop kontrol adalah tipe PID, kebanyakan loop sebenarnya adalah kontrol PI. Kontroler PID saat ini ditemukan di semua area dimana kontrol digunakan. Pengendali datang dalam berbagai bentuk. Ada sistem yang berdiri sendiri di dalam kotak untuk satu atau beberapa loop, yang diproduksi oleh ratusan ribu per tahun. Kontrol PID merupakan unsur penting dari sistem kontrol terdistribusi. Pengendali juga tertanam dalam banyak sistem kontrol khusus. Kontrol PID sering dikombinasikan dengan logika, fungsi sekuensial, penyeleksi, dan blok fungsi sederhana untuk membangun Sistem otomasi rumit yang digunakan untuk produksi energi, transportasi dan manufaktur. Banyak strategi pengendalian yang canggih, seperti model kontrol prediktif, juga disusun secara hierarkis. Kontrol PID adalah digunakan pada tingkat terendah; pengendali multivariabel memberikan setpoint ke pengendali di tingkat bawah. Kontroler PID dapat dikatakan menjadi "*Bread and Butter*" teknik kontrol. Ini penting komponen di setiap kotak alat kontrol insinyur.

Kegunaan kontrol PID terletak pada penerapan umum mereka terhadap kebanyakan sistem kontrol. Secara khusus, ketika model matematis *Plant* tidak diketahui dan karena itu metode perancangan analitik tidak dapat digunakan, kontrol PID terbukti sangat berguna. Di bidang sistem pengendalian proses, diketahui bahwa PID dasar dan termodifikasi. skema kontrol telah membuktikan

kegunaannya dalam memberikan kontrol yang memuaskan, walaupun dalam banyak situasi tertentu mereka mungkin tidak memberikan kontrol yang optimal.

2.2.1 Algoritma PID Controller

Kita akan mulai dengan meringkas fitur utama pengendali PID. Yaitu algoritma PID dijelaskan oleh:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t)dt + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.5)$$

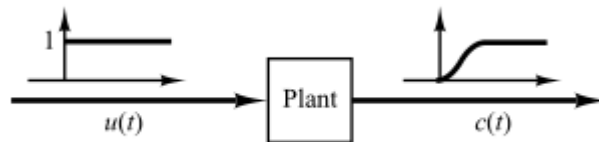
Parameter pengontrol gain proporsional k_p , gain integral k_i dan gain derivatif k_d diparameterisasi sebagai

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.6)$$

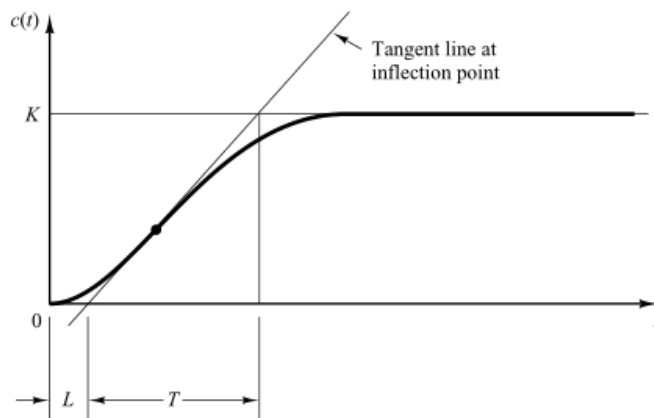
dimana u adalah sinyal kontrol dan e adalah kesalahan kontrol ($e = r - y$). Nilai referensi (r) sering disebut *set point* dan nilai y adalah hasil umpanbalik dari proses yang dikontrol. Sinyal kontrol dengan demikian merupakan jumlah dari tiga istilah: istilah P (yang sebanding dengan kesalahan), istilah-I (yang sebanding dengan integral dari kesalahan), dan D-istilah (yang sebanding dengan turunan dari kesalahan). Parameter kontroler adalah keuntungan proporsional K , waktu integral T_i , dan waktu turunan T_d . Bagian integral, proporsional dan turunannya bisa diartikan sebagai kontrol tindakan berdasarkan masa lalu, sekarang dan masa depan. Bagian turunannya juga bisa diartikan sebagai prediksi dengan ekstrapolasi linier. [8]

2.2.2 Ziegler–Nichols rules for tuning PID controller

Pada metode pertama, kita mendapatkan secara eksperimental respon dari *plant* masukan unit-step, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Jika *plant* tidak melibatkan integrator atau *complex-conjugate poles* yang dominan, maka kurva respons unit-step semacam itu mungkin terlihat berbentuk S, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Metode ini berlaku jika respons terhadap masukan langkah menunjukkan kurva berbentuk S. Kurva respons-respons seperti itu dapat dihasilkan secara eksperimental atau dari simulasi dinamis *plant* .



Gambar 2.28 *Unit-step* respon dari sebuah *plant*



Gambar 2.29 kurva *S-shape response*

Kurva berbentuk S dapat ditandai dengan dua konstanta, delay waktu L dan waktu Konstanta waktu tunda dan waktu tunda konstan ditentukan dengan menggambar garis singgung pada titik belok kurva berbentuk S dan menentukan persimpangan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. *Transfer function* $C(s) / U(s)$ dapat didekati dengan sistem orde pertama dengan *lag transport* sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \quad (2.7)$$

Ziegler dan Nichols menyarankan untuk menetapkan nilai dan sesuai dengan rumus ditunjukkan pada tabel 2.2 dibawah ini.

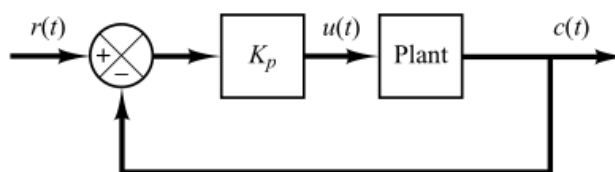
Tabel 2.2 Ziegler–Nichols *Tuning Rule* didasarkan pada *Step Response* Dari *Plant(First Method)*

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

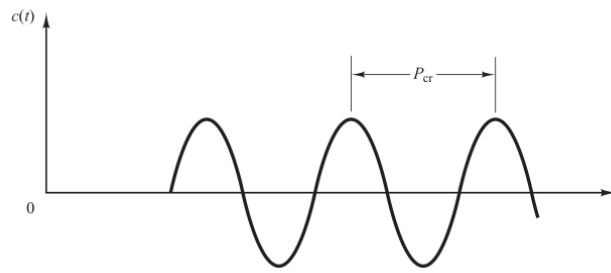
Berdasarkan Tabel 2.2 Perhatikan bahwa pengendali PID *tuned* dengan metode pertama peraturan Ziegler-Nichols memberikan :

$$\begin{aligned}
 G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{s T_i} + s T_d \right) \\
 &= 1.2 \frac{T}{L} \left(1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5 Ls \right) \\
 &= 0.6T \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \qquad (2.8)
 \end{aligned}$$

Pada metode kedua, pertama kita mengatur $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Dengan menggunakan Tindakan kontrol proporsional saja (lihat Gambar 7), meningkatkan K_p dari 0 ke nilai kritis K_{cr} di mana output pertama menunjukkan osilasi berkelanjutan. (Jika output tidak menunjukkan osilasi berkelanjutan untuk nilai apa pun yang mungkin terjadi, maka metode ini tidak Berlaku.) Dengan demikian, critical gain K_{cr} dan periode P_{cr} yang sesuai bersifat eksperimental.



Gambar 2.30 Sistem closed-loop dengan proportional controller



Gambar 2.31 Osilasi berkelanjutan dengan P_{cr} periode (P_{cr} diukur dalam detik.)

Sumber : Katsuhiko Ogata “ Modern Control Engineering”, Edisi 5, 2010

ditentukan (lihat Gambar 8). Ziegler dan Nichols menyarankan agar kita menetapkan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d sesuai dengan rumus yang ditunjukkan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Ziegler–Nichols Tuning Rule didasarkan pada *Critical Gain K_{cr}* and *Critical Period P_{cr}* (Detik Method)

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{1}{1.2} P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 K_{cr}$	$0.125 K_{cr}$

Perhatikan bahwa pengendali PID disetel dengan metode kedua peraturan Ziegler-Nichols memberikan:

$$\begin{aligned}
G_c(s) &= K_p \left(1 + \frac{1}{s T_i} + s T_d \right) \\
&= 0.6 K_{cr} \left(1 + \frac{1}{0.5 s P_{cr}} + 0.125 s P_{cr} \right) \\
&= 0.075 K_{cr} P_{cr} \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \tag{2.9}
\end{aligned}$$

Dengan demikian, pengendali PID memiliki *pole* pada titik asal dan bilangan nol ganda pada $s = -4/P_{cr}$. Perhatikan bahwa jika sistem memiliki model matematika yang dikenal (seperti fungsi transfer), maka kita dapat menggunakan metode akar-lokus untuk menemukan *critical gain* K_{cr} dan frekuensi osilasi berkelanjutan ω_{cr} , di mana nilai-nilai ini dapat ditemukan. dari titik persimpangan cabang akar-lokus dengan sumbu $j\omega$. [9]

2.3 Software MATLAB

MATLAB adalah singkatan dari *MATrix LABoratory*, merupakan Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan Bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C++. MATLAB merupakan Bahasa pemrograman level tinggi/*high-performance* yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi, dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan, dan grafik-grafik perhitungan, dimana permasalahan dan solusi dinyatakan dalam notasi secara matematis.

MATLAB adalah sistem interaktif yang mempunyai basis data array yang tidak membutuhkan dimensi. Ini memungkinkan kita dapat menyelesaikan banyak masalah komputasi teknis, khususnya yang berkaitan dengan formulasi matriks dan vector. MATLAB awalnya dibuat untuk memudahkan dalam mengakses *software* matriks. Seiring perkembangan zaman, MATLAB mampu mengintegrasikan beberapa *software* matriks sebelumnya dalam satu *software* untuk komputasi matriks. Selain itu MATLAB juga mampu melakukan komputasi simbolik yang memungkinkan untuk menangani kalkulasi matematis dalam suatu cara yang mudah. Kegunaan MATLAB secara umum adalah sebagai berikut :

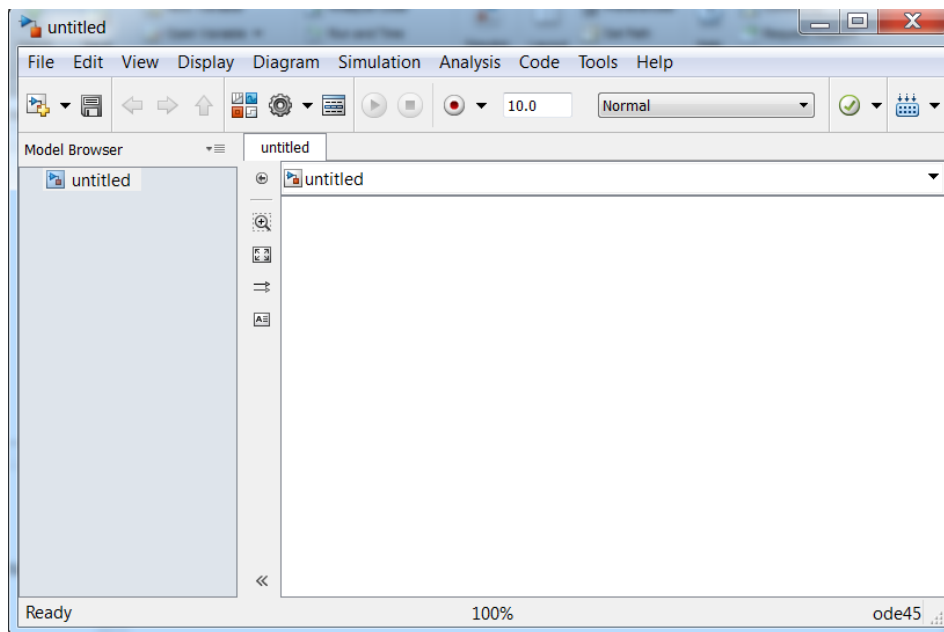
1. Matematika dan komputasi.
2. Pengembangan algoritma.
3. Akusisi/pengumpulan data.
4. Pemodelan, simulasi, dan prototype.
5. Analisis data, eksplorasi, dan visualisasi.
6. Grafik keilmuan dan bidang rekayasa.
7. Pengembangan aplikasi, termasuk pembuatan antarmuka grafis (*Graphical User Interface*)

2.3.1 Simulink

Simulink adalah sebuah tool dalam MATLAB untuk memodelkan, menganalisa, dan mensimulasikan sistem-sistem fisik dan matematik, termasuk sistem elemen non linear serta sistem kontinyu dan sistem diskrit.

Sebagai sebuah tool yang iswaktuwa dalam MATLAB, simulink menambahkan banyak kemampuan yang spesifik untuk sistem-sistem dinamik yang bias menerima semua fungsi utama MATLAB. Tahap – tahap membuka Simulink :

1. Buka Program MATLAB.
2. Klik icon Simulink library browser.
3. Klik icon create a new model untuk membuka file baru atau klik open a model untul melihat / mengedit file lama.



Gambar 2.32 Simulink pada aplikasi MATLAB

2.3.2 Pemodelan sistem dengan MATLAB Simulink

MATLAB adalah singkatan dari *MATrix LABoratory*, merupakan Bahasa pemrograman yang dikembangkan oleh *The Mathwork Inc.* yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan Bahasa pemrograman lain yang

sudah ada lebih dahulu seperti Delphi, Basic maupun C⁺⁺. MATLAB merupakan Bahasa pemrograman level tinggi/*high-performance* yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi, dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi dan pemodelan, dan grafik-grafik perhitungan. Pada awalnya MATLAB dibuat untuk memberi kemudahan mengakses data matriks pada proyek LINPACK dan ESPACK. Saat ini MATLAB memiliki ratusan fungsi yang dapat digunakan sebagai penyelesaian persoalan mulai dari simpel sampai masalah-masalah yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu.

Dalam lingkungan perguruan tinggi teknik, MATLAB merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa dan keilmuan. Di industri, MATLAB merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktivitas yang tinggi, pengembangan, dan analisisnya.

Kegunaan MATLAB secara umum adalah matematika dan komputasi, perkembangan algoritma, pemodelan, simulasi, pembuatan prototype, analisa data, eksplorasi visualisasi, pembuatan aplikasi termasuk pembuatan antarmuka grafis.^[10]