



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

38640/H/10



RSF
628.9
Can
S-1
2009

FINAL PROJECT - RF 1483

**PERFORMANCE STUDY OF CONTROL SYSTEM AND
SAFETY ON UNIT THERMAL VENTILATION
THEMA DRY TUNNEL TH009
PT. ECCO TANNERY INDONESIA**

GALIH CANDRAWATI
NRP 2405 100 018

ADVISOR
IMAM ABADI, ST, MT.

Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya
2009

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11-8-2009
Terima Dari	H
No. Agenda Ptp.	1471

**STUDI PERFORMANSI SISTEM PENGENDALIAN DAN SAFETY
PADA UNIT THERMAL VENTILATION
THEMA DRY TUNNEL TH009
PT. ECCO TANNERY INDONESIA**

TUGAS AKHIR

Oleh :

GALIH CANDRAWATI

NRP : 2405 100 018

Surabaya, Agustus 2009

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing

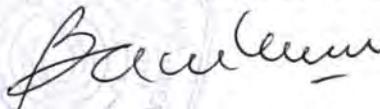


Imam Abadi, ST, MT

NIP : 132 231 646

Ketua Jurusan

Teknik Fisika FTI – ITS



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT

NIP : 132 137 895



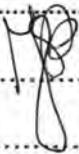
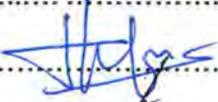
**STUDI PERFORMANSI SISTEM PENGENDALIAN DAN SAFETY
PADA UNIT THERMAL VENTILATION
THEMA DRY TUNNEL TH009
PT. ECCO TANNERY INDONESIA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
GALIH CANDRAWATI
NRP. 2405 100 018

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Imam Abadi, ST, MT (Pembimbing)
2. Dr.Ir. Totok Suhartanto,DEA.....  (Penguji I)
3. Ir.Yerri Susatio,MT..... (Penguji II)
4. Ir.Heri Justiono..... (Penguji III)
5. Taufik Hidayat, ST..... (Penguji IV)

SURABAYA
Agustus, 2009

ABSTRAK

**STUDI PERFORMANSI SISTEM PENGENDALIAN DAN SAFETY
PADA UNIT THERMAL VENTILATION THEMA DRY TUNNEL TH009
PT. ECCO TANNERY INDONESIA**

Nama Mahasiswa : Galih Candrawati
NRP : 2405 100 018
Jurusan/Fakultas : Teknik Fisika-Fakultas
Teknologi Industri -ITS
Dosen Pembimbing : Imam Abadi, ST, MT.

Abstrak

Unit Thermal Ventilation berfungsi sebagai unit pengolah udara pada mesin pengering kulit Thema Dry Tunnel TH009. Variabel yang harus dikendalikan adalah kelembaban dan temperatur udara di dalam tunnel. Agar proses bisa berjalan dengan aman, sistem pengendalian harus dapat mengontrol dengan baik dan sistem proteksi harus memiliki tingkat keamanan yang mencukupi. Sedangkan secara real plan yang terjadi selama ini adalah sistem tidak mampu berjalan secara optimal. Maka dalam penelitian ini, dilakukan suatu simulasi yang terintegrasi antara proses, sistem pengendalian dan sistem proteksi dari model yang telah didapatkan.

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa untuk sistem pengendalian kelembaban memiliki maximum overshoot 4.25%, settling time 31 detik dan error steady state 0.0375%. Sedangkan untuk sistem pengendalian temperatur memiliki maximum overshoot 7.5%, settling time 24 detik dan error steady state 0.03%. Ketiga parameter tersebut mewakili performansi dari sistem kontrol kelembaban dan temperatur hasil simulasi yang tentunya lebih baik dari sistem yang telah ada. Lapisan proteksi dengan process design dan sistem pengendalian saja sebenarnya sudah cukup untuk menangani dinamika proses ini, namun sistem proteksi harus tetap terpasang untuk mencegah kemungkinan ketika sistem kontrol sudah tidak mampu lagi menangani. Sistem proteksi memiliki nilai Safety Integrity Level (SIL) sebesar 1 dengan nilai Probability Failure on Demand (PFD) sebesar $6,628 \times 10^{-2}$. Dari studi melalui simulasi ini, juga ditunjukkan efek failure rate instrumen terhadap respon sistem kontrol.

Kata kunci: HVAC, kelembaban dan temperatur, sistem kontrol, sistem proteksi, failure rate dan Safety Integrity Level.

**PERFORMANCE STUDY OF CONTROL SYSTEM AND SAFETY
ON UNIT THERMAL VENTILATION THEMA DRY TUNNEL TH009
PT. ECCO TANNERY INDONESIA**

Name of Student : Galih Candrawati
Number of Registration : 2405 100 018
Department/Faculty : Engineering Physics – Faculty of
Industrial Technology - ITS
Advisor : Imam Abadi, ST, MT.

Abstract

Unit Thermal Ventilation is a air processing unit on leather drying machine Thema Dry Tunnel TH009. Variables that must be controlled is humidity and temperature of air in the tunnel. To run the process safely, the system must be able to control with better protection and must have a sufficient level of security. Meanwhile, the real plan that occurred during this system is not able to run optimally. So in this research, simulation by combining process, control system, and protection system according to a designed model has been done.

From the simulation results obtained for the humidity control systems have maximum overshoot 4.25%, settling time 31 seconds and error steady state 0.0375%. While for the temperature control system has a maximum overshoot 7.5%, settling time 24 seconds and error steady state 0.03%. The three parameters represent performance of humidity and temperature control system simulation results, of course better than the existing system. Layer of protection with the process design and control system is actually just enough to handle the dynamics of process, but protection system must remain connected to prevent possibility of control when the system is not able to handle more. Protection system has a value of Safety Integrity Level (SIL) 1 Probability Failure on Demand (PFD) of $6,628 \times 10^{-2}$. From this study through the simulation we can formulating and shows the effect of the instrument failure rate to response of control system.

Keyword : HVAC, humidity and temperature, control system, protection system, failure rate and Safety Integrity level.

The background of the page is a repeating pattern of the ITS logo. Each logo consists of a blue shield-like shape with the letters 'ITS' in white, and the text 'Institut Teknologi Sepuluh Nopember' in smaller white letters below it. The logos are arranged in a grid across the entire page.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur, penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT, atas curahan iman, rizki, kesehatan, serta selesainya Tugas Akhir yang berjudul

STUDI PERFORMANSI SISTEM PENGENDALIAN DAN SAFETY PADA UNIT TEHRMAL VENTILATION THEMA DRY TUNNEL TH009 PT. ECCO TANNERY INDONESIA

Dan tak lupa sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Baginda Rasulullah, Muhammad SAW.

Laporan Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi seorang mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu (Siti Muyassaroh), Bapak (Jati Kencono), Adikku (Probo Wahyu Jat Miko) yang tidak pernah lelah mendoakan, menyemangati dan mengingatkan agar aku selalu diberi kemudahan dan selalu dalam bimbinganNya.
2. Bapak Imam Abadi, ST, MT. yang telah dengan sabar membimbing saya dalam menyelesaikan karya ini dan semua penulis buku dan jurnal tentang proses kontrol dan safety.
3. Bapak Chris Hadi, Mr. Velu Balaji, Bapak Arief Johan, Mas Arif Sundoko, Pak Tedy, Pak Anton dan seluruh karyawan Ecco Tannery yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kesempatan dan dengan sangat kooperatif memberikan bimbingan, pengarahan dan informasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Para Dosen Penguji saat Seminar dan Sidang Tugas Akhir saya, terima kasih atas segala kritik, saran dan masukannya buat penyempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika-FTI-ITS.

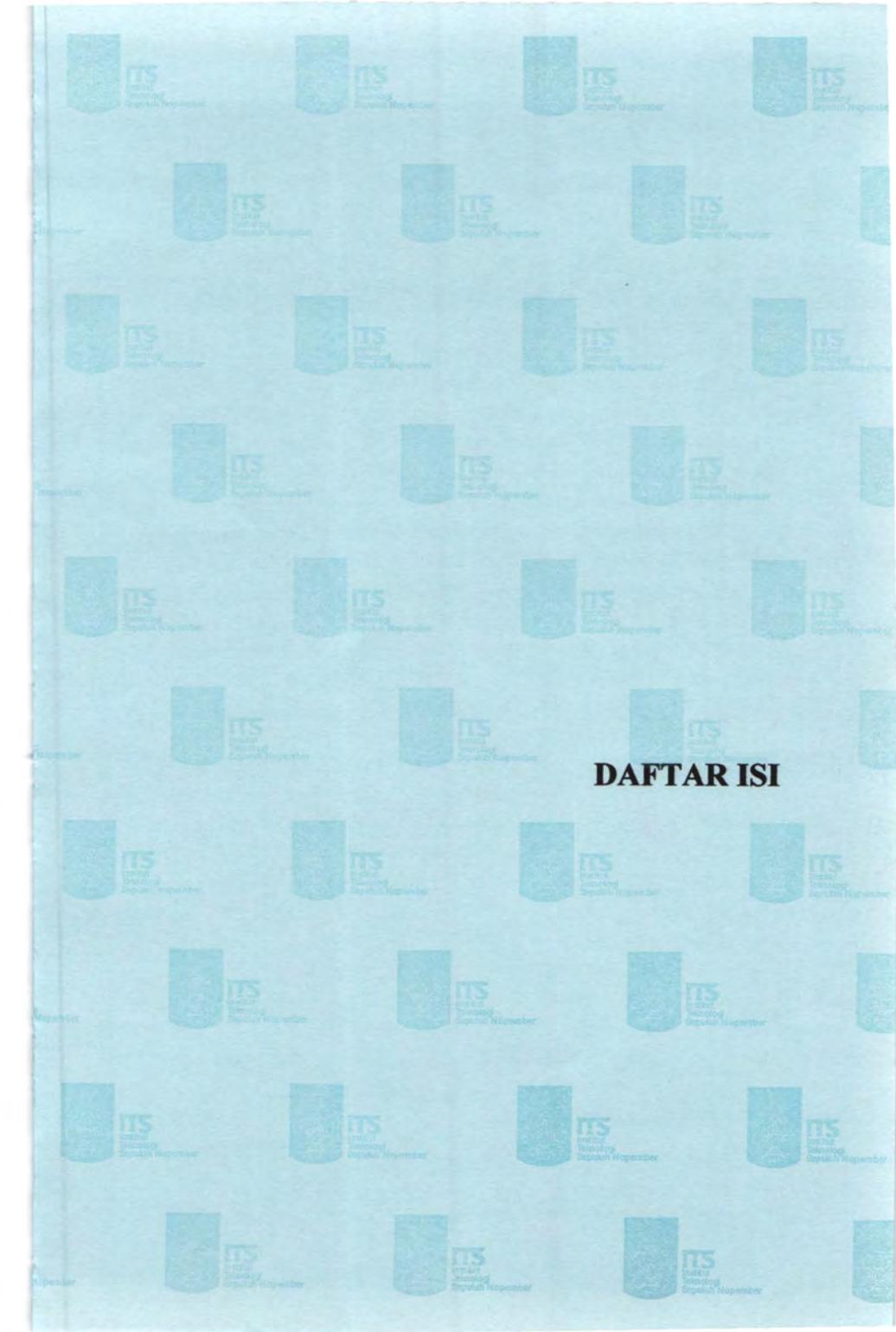
6. Bapak Ir. Ya'umar, MT. selaku Ketua Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol.
7. Bapak Ir. Tutug Dhanardono selaku Dosen Wali yang telah memberikan arahan penulis selama menjalani masa perkuliahan.
8. Bapak/Ibu dosen yang telah menjadi media transfer ilmu sehingga kami dapat merampungkan jenjang perkuliahan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
9. Seluruh staf pegawai Jurusan Teknik Fisika atas semua bentuk kerjasamanya selama masa kuliah.
10. Syafrizal Rahadian, terimakasih atas segala perhatian dan waktu yang telah diberikan.
11. Teman kosku Lia, Wulan, Fila, Citra , Atik, Weny terimakasih atas hiburan, cerita dan canda tawanya.
12. Teman-teman F-40, angkatan atas, angkatan bawah, dan yang lain yang tak dapat disebutkan disini, terimakasih atas persaudaraan yang begitu indah.
13. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Kebenaran dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam karya tulis ini masih banyak terdapat kesalahan dan kekeliruan, maka dengan segala keterbukaan, saran dan masukan penulis harapkan demi perbaikan karya ini agar di kemudian hari tidak memberikan informasi yang kurang benar bagi siapapun yang membacanya. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan dapat dijadikan pijakan bagi pengembangan penelitian di masa-masa berikutnya.

Surabaya, Agustus 2009

Salam

Penulis

The page features a repeating pattern of the ITS logo, which consists of a blue shield with a white stylized 'S' and the text 'ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember' in blue, arranged in a grid across the entire page.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	HAL
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Notasi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv
Daftar Lampiran	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Deskripsi Proses Pengeringan	7
2.2 Hukum Kesetimbangan Energi	15
2.3 Strategi Kontrol	18
2.4 Pengendali PID	21
2.5 <i>Logic Solver (state flow)</i>	26
2.6 Lapisan Proteksi (<i>Layers of Protection</i>)	27
2.7 <i>Safety Integrity Level</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Penurunan Model Proses	36
3.2 Pemodelan Instrumen-instrumen, <i>Cotroller</i> dan <i>Logic Solver</i>	49
3.3 Integrasi Model Keseluruhan	62

3.4	Pengujian.	62
3.5	Perhitungan <i>Safety Integrity level</i> (SIL)	65
3.6	Formulasi dan Simulasi Efek <i>Failure Rate</i> Instrumen.	65
3.7	Penarikan kesimpulan akhir.	67
BAB IV	HASIL DAN ANALISA	69
4.1	Pengujian <i>Instrumen</i>	69
4.2	Pengujian <i>Open Loop</i>	76
4.3	Tuning Parameter <i>Controller</i>	78
4.4	Pengujian Sistem Pengendalian dengan Masukan Step.	80
4.5	Pengujian <i>Tracking Set Point</i>	84
4.6	Pengujian <i>Tracking Load</i>	86
4.7	Pengujian Sistem <i>Interlock / SIS (state flow)</i>	91
4.8	Penentuan Nilai <i>Safety Integrity Level</i> (SIL)	92
4.9	Pengujian <i>Efek Failure Rate</i>	96
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran	102
	DAFTAR PUSTAKA	103
	LAMPIRAN A	A-1
	LAMPIRAN B	B-1
	LAMPIRAN C	C-1
	LAMPIRAN D	D-1

DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
ϕ	: <i>Relative Humidity</i>
W	: <i>Humidity Ratio</i>
W_s	: <i>Humidity Ratio of Saturated Air</i>
T	: <i>Temperature</i>
\dot{m}	: <i>Mass flow</i>
\dot{E}	: <i>Energy</i>
Q	: <i>Kalor</i>
SHR	: <i>Sensible Heat Ratio</i>
HFG	: <i>Latent Heat of Vaporization Water</i>
C_p	: <i>Specific Heat</i>
U_o	: <i>Heat Transfer Coefficient</i>
A_o	: <i>Cross Sectional Area</i>
K_p	: <i>Gain kontroler</i>
T_i	: <i>Reset kontroler</i>
T_d	: <i>Rate kontroler</i>
K_u	: <i>Ultimate gain</i>
P_u	: <i>Ultimate periode</i>
K	: <i>Gain instrumen</i>
τ	: <i>Konstanta waktu instrumen</i>
B	: <i>Bias instrumen</i>
t_s	: <i>Settling time</i>
M_p	: <i>Maximum overshoot</i>
E_{ss}	: <i>Error steady state</i>
λ	: <i>Laju kerusakan instrumen</i>
TI	: <i>Test interval instrumen</i>
$R(t)$: <i>Keandalan instrumen fungsi waktu</i>
SP	: <i>Set Point</i>
PV	: <i>Process Variable</i>

Subscript	Keterangan		
<i>cw</i>	: <i>Cool Water</i>		
<i>hw</i>	: <i>Hot Water</i>		
<i>a</i>	: <i>Air</i>		
<i>lth</i>	: <i>Leather</i>		
<i>env</i>	: <i>Environment</i>		
<i>ex</i>	: <i>External</i>		
<i>mix</i>	: <i>Mixing</i>		
<i>co</i>	: <i>Cooling Coil Out</i>		
<i>st</i>	: <i>Storage</i>		
<i>in</i>	: <i>Input</i>		
<i>out</i>	: <i>Output</i>		
<i>g</i>	: <i>Generate</i>		
<i>S</i>	: <i>Sensible</i>		
<i>L</i>	: <i>Latent</i>		
<i>T</i>	: <i>Total</i>		
<i>W</i>	: <i>Water</i>		

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram blok proses pengolahan kulit.	7
Gambar 2.2	Alat kontrol <i>Thema Dry Tunnel</i> TH009.	9
Gambar 2.3	<i>Layout monitoring Thema Dry Tunnel</i> TH009.	10
Gambar 2.4	Diagram alir <i>Unit Thermal Ventilation</i>	11
Gambar 2.5	Komponen <i>Heat Exchanger</i>	12
Gambar 2.6	<i>Schematic Unit Thermal Ventilation</i>	14
Gambar 2.7	Psikometrik Pemanasan dan Pendinginan.	17
Gambar 2.8	Psikometrik Pengurangan Kelembaban.	17
Gambar 2.9	Psikometrik Pencampuran Udara.	18
Gambar 2.10	Diagram Blok <i>Feedback Control System</i>	19
Gambar 2.11	Diagram Blok pengendali P.	22
Gambar 2.12	Diagram Blok pengendali I.	23
Gambar 2.13	Diagram Blok pengendali D.	24
Gambar 2.14	Diagram Blok pengendali PID.	25
Gambar 2.15	Unsur-unsur obyek grafis dari diagram <i>stateflow</i>	26
Gambar 2.16	Lapisan proteksi (<i>Layers of Protection</i>)	28
Gambar 2.17	Dinamika proses lapisan proteksi.	29
Gambar 3.1	Bagan Metodologi Penelitian.	35
Gambar 3.2	Konversi <i>relative humidity</i> ke <i>humidity ratio</i>	37
Gambar 3.3	Konversi <i>humidity ratio</i> ke <i>relative humidity</i>	38
Gambar 3.4	Perubahan temperature air dalam <i>cooling coil</i>	39
Gambar 3.5	Perubahan temperature air dalam <i>heating coil</i>	40
Gambar 3.6	Skema <i>Cooling Coil</i>	41
Gambar 3.7	Model Simulink <i>cooling coil</i>	44
Gambar 3.8	Skema <i>Heating Coil</i>	45
Gambar 3.9	Model Simulink <i>heating coil</i>	47
Gambar 3.10	Model Simulink <i>Mixing Room</i>	48
Gambar 3.11	Diagram Blok <i>temperature Transmitter</i>	49

Gambar 3.12	Pemodelan Simulink <i>Temperature transmitter</i>	50
Gambar 3.13	Pemodelan Simulink konversi temperatur ke arus.....	51
Gambar 3.14	Diagram Blok <i>Hummidity Transmitter</i>	51
Gambar 3.15	Pemodelan Simulink <i>Humidity Transmitter</i>	52
Gambar 3.16	Pemodelan Simulink konversi kelembaban ke arus.....	53
Gambar 3.17	Diagram Blok <i>Control Valve</i>	53
Gambar 3.18	Pemodelan Simulink <i>control valve</i>	55
Gambar 3.19	Diagram Blok <i>Damper</i>	55
Gambar 3.20	Pemodelan Simulink <i>damper</i>	57
Gambar 3.21	Diagram Blok <i>Fan</i>	57
Gambar 3.22	Pemodelan Simulink <i>fan</i>	58
Gambar 3.23	Diagram Blok Sistem Pengendalian Kelembaban.....	59
Gambar 3.24	Diagram Blok Sistem Pengendalian Temperature.....	60
Gambar 3.25	Pemodelan <i>Stateflow</i> Proteksi kelembaban	61
Gambar 3.26	Pemodelan <i>Stateflow</i> Proteksi Temperatur	62
Gambar 3.27	Pembobotan fungsi <i>realibilty</i> pada instrumen.....	67
Gambar 3.28	Respon sistem kontrol dengan memasukkan fungsi <i>reliability</i>	67
Gambar 4.1	Hasil pengujian <i>humidity transmitter</i> dengan signal inputan 0%RH.....	69
Gambar 4.2	Hasil pengujian <i>humidity transmitter</i> dengan signal inputan 100%RH.....	70
Gambar 4.3	Hasil pengujian <i>temperature transmitter</i> dengan inputan 0 C.....	71
Gambar 4.4	Hasil pengujian <i>temperature transmitter</i> dengan inputan 100 C.....	71
Gambar 4.5	Hasil pengujian <i>control valve</i> dengan signal inputan 4mA.....	72

Gambar 4.6	Hasil pengujian <i>control valve</i> dengan signal inputan 20 mA.	72
Gambar 4.7	Hasil pengujian <i>damper</i> dengan signal inputan 4 mA.	73
Gambar 4.8	Hasil pengujian <i>damper</i> dengan signal inputan 20 mA.	74
Gambar 4.9	Hasil pengujian <i>fan</i> dengan signal inputan 4 mA.	75
Gambar 4.10	Hasil pengujian <i>fan</i> dengan signal inputan 20 mA.	75
Gambar 4.11	Pemodelan <i>Open Loop</i> UTV.	76
Gambar 4.12	Respon <i>Environment Humidity Openloop</i> UTV.	77
Gambar 4.13	Respon <i>Environment Temperature Openloop</i> UTV.	77
Gambar 4.14	Parameter PI Pemodelan Simulink kontrol Kelembaban.	78
Gambar 4.15	Parameter P Pemodelan Simulink kontrol Temperatur.	79
Gambar 4.16	Tuning PID Pemodelan Simulink kontrol Kelembaban.	80
Gambar 4.17	Tuning PID Pemodelan Simulink kontrol Temperatur.	81
Gambar 4.18	Respon <i>Environment humidity</i> parameter PID lama.	81
Gambar 4.19	Respon <i>Environment Temperatur</i> parameter PID lama.	82
Gambar 4.20	Respon Control <i>Environment Humidity</i> UTV.	82
Gambar 4.21	Respon Control <i>Environment Temperature</i> UTV.	83
Gambar 4.23	Respon kontrol kelembaban <i>tracking setpoint</i> turun 25%.	84
Gambar 4.24	Respon kontrol temperatur <i>tracking setpoint</i> turun 25%.	85

Gambar 4.25	Respon kontrol kelembaban <i>tracking load leather</i> naik 50%.	87
Gambar 4.26	Respon kontrol temperatur <i>tracking load leather</i> naik 50%.	87
Gambar 4.27	Respon kontrol kelembaban <i>tracking load external maksimal</i>	89
Gambar 4.28	Respon kontrol temperatur <i>tracking load external maksimal</i>	89
Gambar 4.29	<i>Stateflow humidity interlock</i> sistem.	91
Gambar 4.30	<i>Stateflow temperature interlock</i> sistem.	92
Gambar 4.31	Diagram FTA untuk perhitungan <i>Safety Integrity Level</i>	94
Gambar 4.32	Pemodelan Simulink untuk perhitungan SIL	95
Gambar 4.33	Respon <i>Control Environment Humidity</i> pada SIL1.	97
Gambar 4.34	Respon <i>Control Environment Temperature</i> pada SIL1.	97
Gambar 4.35	Respon <i>Control Environment Humidity</i> pada SIL2.	98
Gambar 4.36	Respon <i>Control Environment Temperature</i> pada SIL2.	98

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Range nilai PFD yang merepresentasikan tingkatan SIL.....	30
Tabel 3.1	Parameter hasil tuning dengan metode Osilasi.....	64
Tabel 4.1	Performansi uji <i>tracking set point</i>	86
Tabel 4.2	Performansi uji <i>tracking load leather</i>	87
Tabel 4.3	Performansi uji <i>tracking load external</i>	90
Tabel 4.4	Range kelembaban untuk UTV.....	91
Tabel 4.5	Range temperatur untuk UTV.....	92
Tabel 4.6	<i>Failure rate</i> masing-masing instrumen.....	93

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	<i>Schematic System Thema Dry Tunnel TH009</i>	A-1
Lampiran B	Data Konstanta Unit Thermal Ventilation.....	B-1
Lampiran C	Integrasi Model Simulink Unit Thermal Ventilation.....	C-1
Lampiran D	Grafik Respon Pengujian Tracking Set Point dan Load.....	D-1

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang akan dicapai, metodologi yang harus dilampaui, beserta sistematika laporan dari Tugas Akhir ini.

1.1 Latar Belakang

PT. ECCO Tannery Indonesia merupakan perusahaan multinasional yang bergerak dalam hal *manufacturing leather*. Salah satu tahapan pada proses pengolahannya adalah pengeringan kulit dengan memanfaatkan mesin *Thema Dry Tunnel TH009*. Kulit yang keluar dari mesin *vacum* masih memiliki kadar kelembaban sekitar 35%, sehingga perlu dilakukan proses pengeringan. Dasar dari proses ini memanfaatkan prinsip kerja *heat exchanger* untuk pertukaran kalor pada udara di dalam unit pengolahnya (*Unit Thermal Ventilation*). Setelah melalui proses pengeringan, diharapkan dapat menghasilkan kulit yang mempunyai kadar kelembaban sekitar 12 - 14 %. Proses pengeringan dilakukan secara bertahap melalui empat sektor yang akan memakan waktu sekitar 8 jam. Jika kulit yang keluar dari *Thema Dry Tunnel TH009* ini masih terlalu basah (>14%) maka akan mengakibatkan luasan dari kulit tidak dapat maksimal, sedangkan jika terlalu kering (<12%) dapat mengakibatkan elastisitas kulit menjadi kurang baik.

Agar sistem pada *Unit Thermal Ventilation* ini bisa menjalankan fungsinya dengan baik, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah perihal sistem kontrol (*Basic Process Control System/BPCS*) dan sistem proteksi (*Safety Instrumented System/SIS*). Variabel dinamik yang harus dikontrol agar proses tersebut bisa berjalan optimal adalah kelembaban dan temperatur udara di dalam *Thema Dry Tunnel TH009*. Pengendalian ini dilakukan untuk menjaga kelembaban dan temperatur udara pada kondisi *Normal Operation* sehingga menghasilkan kulit yang

kering dengan kadar kelembaban sesuai yang diharapkan. Pada dasarnya, tujuan utama dipasangnya BPCS pada *Process Design* adalah untuk mengoptimalkan kondisi proses dan memaksimalkan kualitas produksi.

Berdasarkan standard *layers of protection*, satu tingkat proteksi diatas BPCS yang bekerja secara otomatis dan harus dimiliki oleh sebuah proses adalah SIS yang berfungsi untuk membawa dan mempertahankan proses pada kondisi aman ketika terjadi bahaya, dimana pada saat itu desain peralatan proses dan sistem control tidak mampu lagi untuk *handle* bahaya tersebut. SIS difungsikan untuk mengatasi ketidakstabilan sebuah proses yang ekstrem yang bisa terjadi karena sebab-sebab tertentu yang memicu terjadinya *over* kelembaban dan temperatur. Oleh karena itulah, untuk mengatasi hal tersebut perlu ditambahkan SIS untuk menunjang keamanan operasi dan proses. Ketidakstabilan proses yang ekstrem tersebut jika tidak tertangani, akan menyebabkan kegagalan proses (*trip*) dan bisa membawa dampak yang buruk terhadap kualitas produks. Salah satu penilaian *performansi* dari sistem proteksi (SIS) adalah *Safety Integrity Level* (SIL) yang merupakan nilai ukur dari SIS yang hanya dihubungkan dengan *device* yang mengkonfigurasi SIS.

Dengan mengacu pada uraian di atas, menilik bahwa sistem yang ada selama ini belum dapat berjalan secara optimal dilihat dari sering terjadinya kegagalan proses produksi dan menurunnya kualitas hasil produksi, dan melihat betapa pentingnya peran sistem pengendalian serta sistem proteksi. Maka dalam Tugas Akhir ini penulis merasa tertarik untuk melakukan kajian mengenai kinerja sistem pengendalian dan safety pada *Unit Thermal Ventilation* melalui simulasi, guna meningkatkan kualitas produksi serta pengendalian bahayanya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dirumuskanlah permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana membuat model matematis dan mensimulasikan dinamika proses beserta sistem kontrol (BPCS) dan sistem proteksi (SIS) pada *Unit Thermal Ventilation*.
- Bagaimana mengetahui dan membandingkan parameter performansi antara sistem yang telah ada dengan sistem hasil rancangan melalui simulasi dari model yang telah didapatkan.
- Bagaimana menentukan besarnya *Safety Integrity Level* (SIL) dan menunjukkan efek *failure rate* terhadap respon sistem pengendalian.

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempertajam dan memfokuskan permasalahan dalam Tugas Akhir ini, beberapa batasan masalah yang diambil diantaranya adalah sebagai berikut:

- Plant yang menjadi objek penelitian adalah *Unit Thermal Ventilation* pada *Thema Dry Tunnel TH009* – sector 2B di PT. ECCO Tannery Indonesia.
- Digunakan inputan kulit dengan batch no 123917 dan recipe no 66.
- Data-data proses diambil pada saat kondisi *Normal Operation* pada tanggal 2/20/2009 pukul 1:03:58 PM sampai 2:46:53 PM.
- Sistem Kontrol Dinamik (BPCS) berorientasi pada pengendalian kelembaban dan temperatur.
- Dalam Tugas Akhir ini tidak dibahas masalah perpindahan kalor dari udara ke kulit
- Perangkat utama dalam studi ini adalah simulasi (Simulink-Matlab) dari model yang telah didapatkan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan studi performansi melalui simulasi yang terintegrasi antara proses, sistem pengendalian dan sistem proteksi pada *Unit Thermal Ventilation*.

1.5 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, maka diperlukanlah metodologi yang memuat tahapan-tahapan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut:

- Studi Literatur
 - Proses pengeringan pada *Unit Thermal Ventilation Thema Dry Tunnel TH009*.
 - Sistem kontrol (BPCS) dan sistem proteksi (SIS) yang menyokong keamanan proses pada *Unit Thermal Ventilation*.
- Identifikasi masalah.
- Penetapan tujuan penelitian.
- Pengambilan data – data teknis dan operasi pada *plant*, bisa dilakukan dengan:
 - Pencatatan data-data proses monitoring pada kondisi *normal operation*.
 - Pengambilan data spesifikasi melalui *instruction manual book*.
 - Pencatatan data failure rate masing-masing instrumen yang diambil dari standart OREDA.
- Simulasi pemodelan menggunakan simulink Matlab
 - Pemodelan dinamika proses pada *Unit Thermal Ventilation*.
 - Pemodelan instrumen-instrumen penyokongnya
 - Pemodelan sistem pengendalian
 - Pemodelan sistem proteksi
 - Integrasi model proses, sistem pengendalian dan sistem proteksi.
- Uji *open loop* proses.

- Tuning parameter controller
- Pengujian performansi
 - Uji sistem pengendalian dengan inputan step
 - Uji tracking set point
 - Uji tracking load leather dan external
- Analisa performansi sistem kontrol secara kualitatif
 - *Maximum overshoot*
 - *Settling time*
 - *Error steady state*
- Penentuan nilai *Safety Integrity Level (SIL)* pada *Unit Thermal Ventilation*.
- Memformulasikan dan menunjukkan efek *failure rate* instrumen terhadap respon sistem pengendalian.
- Penarikan kesimpulan dari pembahasan yang telah dihasilkan
- Penyusunan laporan Tugas akhir.

1.6 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang terkait dalam penulisan Tugas Akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan kesimpulan dari Tugas Akhir ini. Hasil dari tahap ini adalah perhitungan dan model yang siap untuk disimulasikan dan dianalisa.

BAB IV Pengujian dan Analisa Hasil Simulasi

Bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana dari simulasi yang didapatkan baik berupa grafik maupun tabulasi, dilakukanlah analisa-analisa serta pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh rangkaian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori dasar yang mencakup hal-hal yang mendukung dan menjadi dasar pemikiran dalam Tugas Akhir. Pengambilan dasar teori berasal dari *text book*, jurnal ilmiah yang dipublikasikan lewat *internet*, dan *Instruction Manual Book* dari perusahaan tempat penulis mengambil data.

2.1 Deskripsi Proses Pengeringan

Dalam suatu perusahaan *manufacturing leather* terdapat beberapa tahapan untuk proses pengolahan kulit. Secara umum rangkaian proses pengolahan kulit yang dilakukan di PT.ECCO Tannery Indonesia adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Diagram blok proses pengolahan kulit

Material kulit sapi mentah (*rawhide material*) yang telah digarami dan disesuaikan ukurannya akan didiamkan di gudang selama beberapa hari. Garam berfungsi untuk mengawetkan dan mengurangi kadar air dalam kulit mentah. Setelah itu *rawhide material* akan mengalami proses *soaking*, *liming* dan *flushing* yaitu pencucian kulit mentah dengan beberapa jenis zat kimia untuk menghilangkan darah, bulu serta lemak yang masih menempel pada lapisan kulit. Kemudian dilakukan proses *spliting* yaitu pembelahan untuk mengurangi ketebalan kulit, dan proses *tanning* yang bertujuan untuk mengawetkan kulit dengan perendaman menggunakan berbagai larutan kimia. Terakhir adalah proses *sammying* yaitu pemotongan kulit menjadi dua belah bagian untuk mengurangi luas area permukaan guna mempermudah proses selanjutnya. Setelah melalui beberapa proses tersebut, maka akan dihasilkan material *wetblue* yaitu

bahan baku kulit mentah yang siap diolah. Selanjutnya *wetblue* dapat diolah menjadi produk tas, sepatu, sandal, dll. Namun dapat juga langsung dijual berupa bahan baku setengah jadi.

Langkah selanjutnya akan dilakukan proses *retanning* yang bertujuan untuk membentuk karakter dari kulit *wetblue material* sesuai dengan yang diinginkan konsumen. Misalnya untuk menentukan warna kulit, sifat elastisitas, kemampuan menyerap air, pelapisan, dll. Hal ini dilakukan dengan pencampuran beberapa larutan kimia dan perendaman selama beberapa hari. Proses selanjutnya adalah *wet end* yang terdiri dari beberapa tahap antara lain *setting out* yaitu kulit diperas untuk mengeluarkan air, *vacum* yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air di dalam kulit, *drying* yaitu pengeringan dengan cara dijemur, *toggling* yang bertujuan untuk meningkatkan luas area permukaan dari kulit, serta *milling* yang bertujuan untuk menciptakan elastisitas kulit tertentu sesuai yang diinginkan.

Setelah melalui tahap-tahap diatas, kulit juga harus melalui proses *crusting* dan *finishing*. Beberapa tahap yang termasuk di dalamnya antara lain seperti *buffing* yang bertujuan untuk menghaluskan permukaan kulit, *spraying* yaitu menyemprotkan beberapa zat kimia untuk membentuk lapisan kulit, juga dilakukan pembentukan motif dari kulit, serta dilakukan seleksi terhadap barang yang cacat produksi. Tahap terakhir dari proses pengolahan kulit adalah pengujian kualitas kulit di laboratorium yang termasuk pengukuran luasan dan berat kulit.

Dalam hal ini proses pengeringan merupakan salah satu tahapan pada *wet end* proses. Setelah kulit mengalami proses *vacum* untuk mengurangi kadar air didalamnya, maka akan dihasilkan kulit dengan kelembaban yang masih tinggi yaitu sekitar 34% - 35%. Untuk itulah kulit akan mengalami proses pengeringan menggunakan mesin *Thema Dry Tunnel TH009* ini masing-masing selama 2 jam pada setiap sektor, dengan harapan akan dihasilkan kulit dengan kadar kelembaban 12%-14%

Untuk mencapai proses pengeringan sendiri terdapat dua parameter yang harus diperhatikan, yaitu kontrol kelembaban dan

kontrol temperatur. Kontrol kelembaban dilakukan melalui proses kondensasi dengan memanfaatkan *cool water* yang mengalir melalui *heat exchanger* dengan tujuan menurunkan kadar kandungan air dalam udara di *tunnel*. *Cool water* tersebut berasal dari chiller yang telah dikontrol secara terpisah dengan suhu tertentu sesuai kebutuhan proses. Sedangkan untuk kontrol temperatur dilakukan oleh *hot water* yang mengalir melalui *heat exchanger* untuk meningkatkan suhu udara di dalam *tunnel*. *Hot water* tersebut berasal dari *boiler* yang telah di kontrol secara terpisah dengan suhu tertentu sesuai dengan kebutuhan proses.

2.1.1 Thema Dry Tunnel TH009

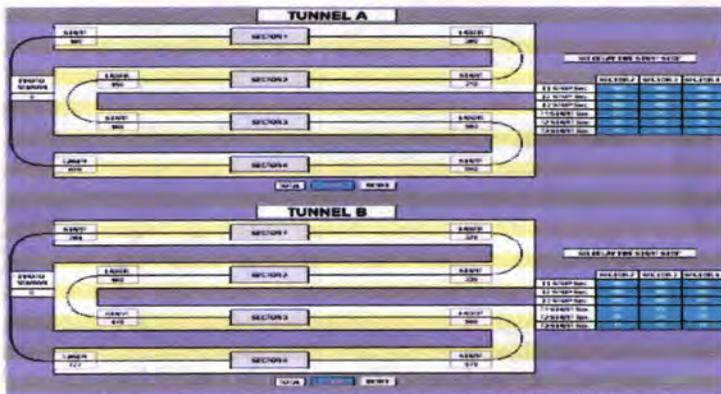
Thema Dry Tunnel TH009 merupakan mesin pengering kulit yang dibuat untuk mengoptimalkan hasil produksi dan meningkatkan kualitas kulit. Dengan mesin ini, pengeringan dilakukan terhadap kontrol kelembaban dan temperatur udara yang akan dihembuskan ke kulit di dalam *tunnel*. Dimana proses pengeringan dilakukan secara bertingkat dan terpisah pada empat sektor, udara setiap sektor dikelola sendiri oleh *Unit Thermal Ventilation (UTV)*.



Gambar 2. 2 Alat kontrol Thema Dry Tunnel TH009
[Thema manual book, 1997]

Selama proses ini, nilai kelembaban relatif dan suhu udara di dalam *tunnel* akan diukur sebagai referensi untuk mengatur nilai akhir kelembaban yang diinginkan pada akhir dari siklus pengeringan ini. Melalui sensor inframerah akan didapatkan nilai kelembaban dan suhu kulit pada setiap sektor. Selain itu melalui panel operator kita dapat mengatur set point untuk pengeringan setiap jenis kulit “resep”, sehingga mesin ini dapat mengeringkan berbagai jenis kulit secara terus-menerus. Adapun komponen-komponen yang menyusun *Thema Dry Tunnel TH009* ini, sebagai berikut :

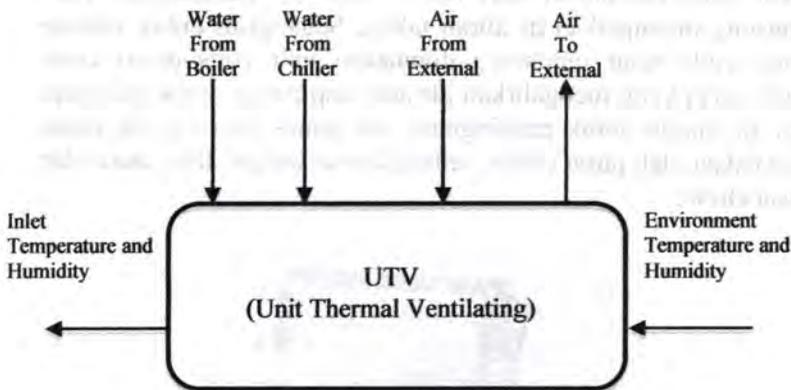
- Conveyor jenis TH001, kulit akan digantung pada tongkat dari rel berjalan yang ada di langit-langit *tunnel*.
- Panel isolasi dengan berbagai ketebalan yang menyusun terowongan *thema (tunnel)*.
- Empat *Unit Thermal Ventilation*, masing-masing bekerja di sektor yang berbeda, dengan set point yang berbeda satu dan yang lain, semua dikelola dari PLC.
- Empat unit sensor laser, yang mengukur nilai kelembaban dan suhu kulit dalam posisi tertentu di dalam *tunnel*.
- Sensor suhu dan kelembaban relatif, yang mengukur nilai kelembaban relatif dan suhu udara di dalam *tunnel*.



Gambar 2.3 Layout monitoring Thema Dry Tunnel TH009
[Thema manual book, 1997]

2.1.2 Komponen Unit Thermal Ventilation (UTV)

Unit Thermal Ventilation merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk pengkondisian dan sirkulasi udara yang terdiri dari *heating, ventilating, dan air conditioning* (HVAC) sistem. Umumnya suatu pengkondisian udara berupa logam besar yang berisi kotak *blower*, pemanas dan / atau elemen pendinginan, filter, dan damper. Pengkondisian udara ini biasanya berhubungan langsung dengan *ductwork* yang berfungsi untuk mendistribusikan udara ke dalam ruangan dan mengembalikannya ke UTV



Gambar 2.4 Diagram alir Unit Thermal Ventilation

Adapun komponen dari sistem pengkondisian udara adalah:

- **Blower / Fan**

Pengkondisian udara dalam volume yang besar biasanya menggunakan blower yang digerakkan oleh AC induksi motor listrik untuk memindahkan udara. Blower dapat beroperasi pada satu kecepatan, berbagai variasi pre-set kecepatan, atau didorong oleh *Variable Frequency Drive*, sehingga memungkinkan untuk berbagai aliran udara dalam range yang lebar. Unit pengkondisian udara untuk komersial dalam jenis yang besar biasanya

menggunakan beberapa Blower, ditempatkan pada bagian awal *ductwork* untuk mendorong udara ke dalam UTV dan pada bagian akhir *ductwork* untuk mendorong udara kembali ke dalam ruangan.

- **Elemen Pemanasan dan / atau Pendinginan**

Tergantung pada lokasi dan aplikasi, pengkondisian udara mungkin perlu menyediakan pemanasan, atau pendinginan, atau keduanya untuk mengubah suhu udara yang masuk. Untuk pengkondisian udara dalam volume kecil mungkin berisi bahan bakar yang bersumber dari heater atau uap pendinginan yang langsung ditempatkan di aliran udara. Sedangkan untuk volume yang lebih besar umumnya digunakan unit coils panas (*heat exchanger*) yang mengalirkan air atau uap panas untuk pemanas, dan air dingin untuk pendinginan. Air panas atau uap air panas disediakan oleh pusat boiler, sedangkan air dingin disediakan oleh pusat chiller.



Gambar 2.5 Komponen Heat Exchanger
[Thema manual book, 1997]

- **Filter**

Penyaringan udara harus dilakukan untuk membersihkan debu yang terkandung dalam udara bebas. Secara sederhana dapat dilakukan melalui media MERV berlipat, HEPA, electrostatic, atau gabungan dari teknik tersebut. Hal ini biasanya ditempatkan pertama di UTV agar semua komponen bersih.

- **Humidifier**

Peningkatan kelembaban seringkali diperlukan untuk iklim yang dingin, karena pemanasan yang terus menerus akan membuat udara menjadi kering, sehingga tidak nyaman dalam peningkatan kualitas udara. Berbagai jenis peningkatan kelembaban yang dapat digunakan:

- *Evaporative* : udara kering ditiupkan melalui beberapa *reservoir*. Tingkat penguapan dapat di naikkan dengan melakukan penyemprotan air ke *baffles* di aliran udara.
- *Vaporizer* : uap air dari *boiler* ditiupkan langsung ke dalam aliran udara.
- *Spray mist* : air yg disebarakan baik oleh *nozzle* atau alat mekanis lainnya sehingga menjadi tetesan halus dan dibawa oleh udara.

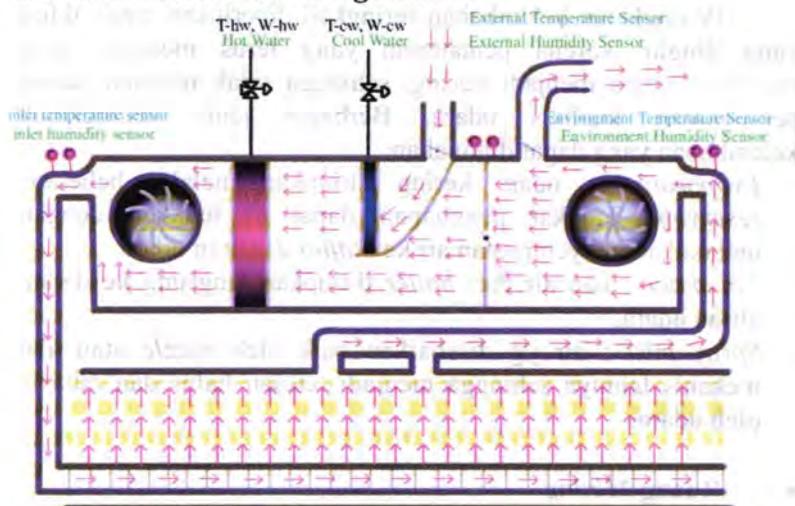
- **Ruang Mixing**

Dalam rangka untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan, alat pengkondisian udara umumnya memiliki cerobong untuk mengijinkan udara dari luar masuk ke ruangan dan udara dari dalam ruangan keluar. Dalam iklim sedang, diperlukan jumlah pencampuran udara dingin di luar dan udara panas yang tepat untuk mendapatkan suhu yang dikehendaki. Unit pengkondisian udara dalam volume yang besar biasanya menggunakan damper untuk mengendalikan rasio antara udara yang keluar dan masuk kembali.

- **Kontrol**

Kontrol diperlukan untuk mengatur semua aspek dari sebuah pengkondisian udara, seperti : sensor aliran udara, sensor suhu, sensor kelembaban, suhu udara bersih, suhu udara campuran, kelembaban udara, serta termasuk juga *actuator*, motor, dan pengendalinya.

2.1.3 Parameter Sistem Pengendalian



Gambar 2.6 Schematic Unit Thermal Ventilation

- **Temperatur Udara**

Ini adalah temperatur udara yang beredar dalam *tunnel*, diukur untuk udara yang datang dari dalam *tunnel* dan menuju ke dalam UTV (*Unit Thermal Ventilation*) dan nilainya dianggap sama dengan temperatur udara di sekitar kulit. IR probes berfungsi untuk menghitung kelembaban relative (%). Pengaturan batas temperatur akan dilakukan secara otomatis dan juga akan mempertimbangkan kondisi temperature udara di luar, misalnya pengaruh perbedaan siang / malam. Dengan menggunakan segmen pendinginan dari UTV, udara di dalam terowongan juga dapat didinginkan.

- **Kelembaban Udara**

Dengan bantuan dari segmen pendingin UTV, udara yang beredar dalam *tunnel* dapat dikondensasi. Dengan cara ini kelembaban relative udara (%) di dalam *tunnel* dapat dikontrol. Jika kelembaban diatur ke nilai yang tinggi (misalnya 80%) maka

proses pengeringan kulit akan berjalan sangat lambat atau tidak sama sekali, sedangkan kelembaban di lingkungan hanya sekitar 30%.

- **Kelembaban Kulit**

Pengaturan kelembaban kulit di setiap sektor harus sama dengan kelembaban relative yang diminta untuk kulit yang keluar dari terowongan pengering ini (Biasanya sekitar 12-14 %). Di sini dapat dimasukkan nilai kelembaban relatif yang dikehendaki (%) dari kulit. Dengan pembacaan dari *IR probes* akan dibandingkan dengan nilai ini. Bila kelembaban kulit yang terukur telah sesuai dengan yang diinginkan, maka *IR probes* akan menonaktifkan sektor berikutnya.

- **N-faktor**

N faktor yang merupakan lambang dalam rumus yang menghitung kelembaban relative kulit (%). Untuk mengubah nilai ini, kita harus membandingkan dengan membaca kelembaban pada *aqua-boy* ke nilai-nilai seperti yang ditunjukkan oleh sistem *Thema*. Pada prakteknya *IR probes* hanya dapat mengukur pada suatu sisi lain dari permukaan kulit. Hal ini mungkin berbeda dengan pembacaan pada *aqua-boy* yang dapat dilakukan di bagian tengah kulit dengan menggunakan jarum yang menembus kulit. N faktor akan memberikan kompensasi untuk *error* perbedaan antara pembacaan *IR probes* dan *aqua-boy*.

2.2 Hukum Kesetimbangan Energi

Hukum kesetimbangan energi menyatakan bahwa laju perubahan energi yang tersimpan didalam suatu sistem adalah sebanding dengan laju perubahan energi yang masuk kedalam sistem dijumlahkan dengan energi yang dibangkitkan (*generated*) oleh sistem itu sendiri kemudian dikurangi dengan laju perubahan energi yang keluar dari sistem.

$$\dot{E}_{st} = \dot{E}_m + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

\dot{E}_{st} = laju perubahan energi yang tersimpan (*storage*) dalam sistem (Joule/s)

\dot{E}_{in} = laju perubahan energi yang masuk sistem (Joule/s)

\dot{E}_{out} = laju perubahan energi yang keluar sistem (Joule/s)

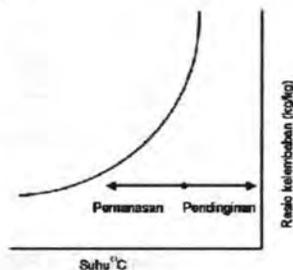
\dot{E}_g = energi yang dibangkitkan (*generated*) oleh proses pada suatu sistem itu sendiri. Biasanya energi ini ditimbulkan oleh proses-proses kimia, listrik, elektromagnetik, dan nuklir (Joule/s)

2.2.1 Psikrometrik untuk Proses Pengkondisian Udara

Psikometrik adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat termodinamika. Secara umum digunakan untuk mengilustrasikan dan menganalisis perubahan sifat termal dan karakteristik dari proses. Diagram psikometrik adalah gambaran dari sifat-sifat termodinamika dalam hal ini adalah untuk udara dan variasi proses sistem pengolahan udara serta siklus sistem pengolahan udara. Dari diagram psikometrik akan membantu dalam perhitungan dan menganalisis kerja serta perpindahan energi dari proses dan siklus sistem pengolahan udara. Proses yang terjadi pada udara dapat digambarkan dalam bagan psikrometrik guna menjelaskan perubahan sifat-sifat udara yang penting seperti temperatur, rasio kelembaban dan entalpi dalam proses-proses tersebut. Beberapa proses dasar dapat ditunjukkan sebagai berikut

- **Proses Pemanasan dan pendinginan**

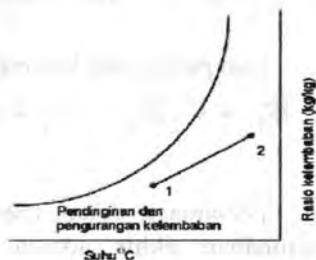
Proses pemanasan dan pendinginan diartikan sebagai laju perpindahan kalor yang hanya disebabkan oleh perubahan suhu *dry bulb*. Gambar disamping menunjukkan suatu perubahan suhu *dry bulb* tanpa ada perubahan rasio kelembaban.



Gambar 2.7 Psikometrik Pemanasan dan Pendinginan

- **Pendinginan dan pengurangan kelembaban**

Proses ini menurunkan suhu *dry bulb* dan rasio kelembaban. Proses ini terjadi pada coil pendingin atau alat penurun kelembaban

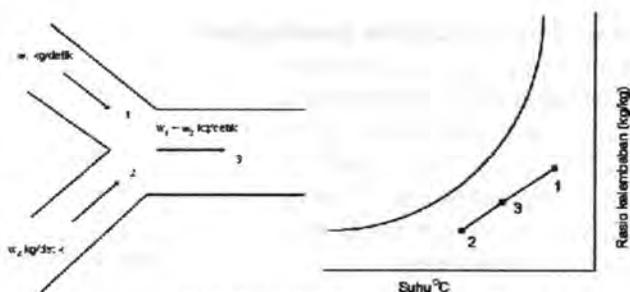


Gambar 2.8 Psikometrik Pengurangan Kelembaban

- **Pencampuran Udara**

Campuran dua aliran udara adalah proses yang umum di dalam pengkondisian udara. Gambar dibawah menunjukkan pencampuran udara antara w_1 (kg/detik) udara dari keadaan 1 dengan w_2 (kg/detik) udara dari keadaan 2. Hasilnya adalah kondisi 3, terlihat pada grafik psikrometrik.





Gambar 2.9 Psikometrik Pencampuran Udara

Persamaan dasar untuk proses pencampuran ini adalah persamaan kesetimbangan energi dan keseimbangan massa. Persamaan keseimbangan energi adalah:

$$w_1 h_1 + w_2 h_2 = (w_1 + w_2) h_3 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dan persamaan kestimbangan massa air adalah:

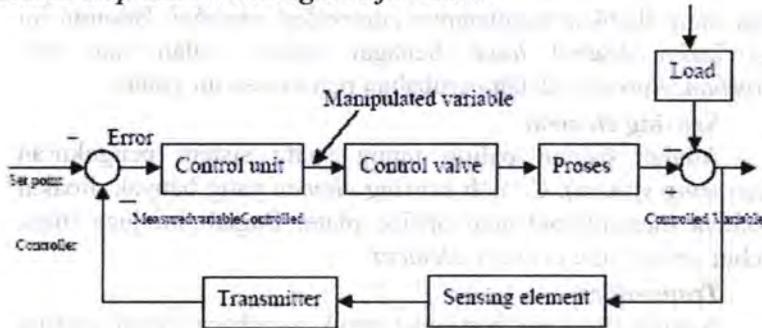
$$w_1 W_1 + w_2 W_2 = (w_1 + w_2) W_3 \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa entalpi dan rasio kelembaban akhir adalah rata-rata dari entalpi dan rasio kelembaban udara saat masuk. Suatu pendekatan yang dilakukan oleh para ahli adalah bahwa suhu dan rasio kelembaban merupakan harga rata-rata udara masuk. Dengan pendekatan ini, titik yang terdapat pada grafik psikrometrik di atas menyatakan hasil dari suatu proses pencampuran yang terletak pada garis lurus yang menghubungkan titik-titik dari kondisi-kondisi pemasukan.

2.3 Strategi Kontrol

Pada gambar dibawah ini, bagian *controller* mempunyai *summing junction* dengan tanda positif-negatif (+/-). Di titik inilah langkah membandingkan dilakukan dengan menggunakan besaran *set point* dengan sinyal *measured variabel*. Hasilnya adalah sinyal yang disebut *error*. Tanda negatif (-) di *summing*

junction membawa arti yang sangat spesifik bagi seluruh sistem. Karena tanda inilah sistem pengendalian otomatis juga lazim disebut dengan *negative feedback*. Dengan demikian, sistem pengendalian otomatis mempunyai dua nama lain, yaitu sistem *closed loop* dan sistem *negative feedback*.



Gambar 2.10 Diagram Blok Feedback Control System
[Gunterus, 1994]

Di bawah ini merupakan istilah yang perlu diketahui dalam rangka mempelajari sistem pengendalian otomatis (*closed loop system*).

- **Process**

Adalah tatanan peralatan suatu fungsi tertentu contohnya *heat exchanger*. Input proses dapat bermacam-macam, yang pasti ia merupakan besaran yang dimanipulasi oleh *final control element* atau *control valve* agar *measurement variabel* sama dengan set point. Input proses ini juga disebut *manipulated variabel*.

- **Controlled variable**

Adalah besaran atau variabel yang dikendalikan. Besaran ini pada diagram kotak juga disebut output proses atau proses variabel. Sebagai contoh, temperature air panas yang keluar dari *heat exchanger* adalah *controlled variabel* proses tersebut.

- **Manipulated variable**

Adalah input dari suatu proses yang dapat dimanipulasi

atau diubah-ubah besarnya agar proses variabel atau *controlled variabel* besarnya sama dengan set point. Sebagai contoh, input proses adalah *steam flow* yang masuk ke *heat exchanger*.

- ***Disturbance***

Adalah besaran lain, selain *manipulated variabel* yang dapat menyebabkan berubahnya *controlled variabel*. Besaran ini juga lazim disebut *load*. Sebagai contoh, salah satu dari *disturbance* proses adalah perubahan pemakaian air panas.

- ***Sensing element***

Adalah bagian paling ujung suatu sistem pengukuran (*measuring system*). Contoh *sensing elemen* yang banyak dipakai misalnya thermokopel atau orifice plate. Bagian ini juga biasa disebut sensor atau *primary element*.

- ***Transmitter***

Adalah alat yang berfungsi untuk membaca sinyal sensing element, dan mengubahnya menjadi sinyal yang bisa dimengerti oleh *controller*.

- ***Transducer***

Adalah unit pengolah sinyal. Kata *transmitter* sering kali dirancukan dengan istilah *transducer*. Keduanya memang mempunyai fungsi yang serupa, walaupun tak sama benar. *Transducer* lebih bersifat lebih umum, sedangkan *transmitter* lebih khusus yang pemakaiannya pada sistem pengukuran.

- ***Measurement variabel***

Adalah sinyal yang keluar dari *transmitter*. Besaran ini merupakan cerminan besarnya sinyal sistem pengukuran.

- ***Set point***

Adalah besar proses variabel yang dikehendaki. Sebuah *controller* akan selalu berusaha menyamakan *controlled variabel* dengan set point.

- ***Error***

Adalah selisih antara set point dikurangi dengan *measurement variabel*. *Error* bisa negatif dan bisa juga positif. Bila set point lebih besar dari *measurement variabel*, *error* akan menjadi positif. Sebaliknya, bila set point lebih kecil dari

measurement variabel, error akan menjadi negatif.

- **Controller**

Adalah element yang mengerjakan tiga dari empat tahap langkah pengendalian yaitu membandingkan set point dengan *measurement variabel*, menghitung berapa banyak koreksi yang perlu dilakukan, dan mengeluarkan sinyal koreksi sesuai dengan hasil perhitungan tadi. Controller sepenuhnya menggantikan peran manusia dalam mengendalikan sebuah proses. Dalam bahasa indonesia kata *controller* sering kali diterjemahkan sebagai alat pengendali.

- **Control unit**

Adalah bagian dari *controller* yang menghitung besarnya koreksi yang diperlukan. Input control unit adalah *error*, dan outputnya adalah sinyal yang keluar dari *controller*. Output control unit adalah hasil penyelesaian matematik dengan transfer function dan memasukkan nilai *error* sebagai input.

- **Final control element**

Seperti tercermin dari namanya adalah bagian akhir dari instrument atau pengendalian. Bagian ini berfungsi untuk mengubah *measurement variabel* dengan cara memanipulasi besarnya *manipulated variabel*, berdasarkan perintah *controller*.

2.4 Pengendali PID

2.4.1 Pengendali Proporsional (P)

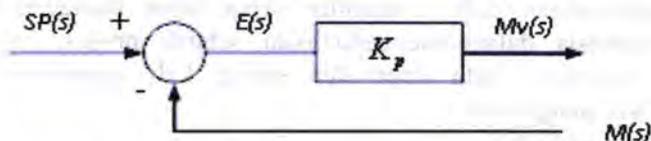
Kontroler proporsional memiliki 2 parameter, pita proporsional (*proportional band*) dan konstanta proporsional. Daerah kerja kontroler efektif dicerminkan oleh pita proporsional, sedangkan konstanta proporsional menunjukkan nilai faktor penguatan terhadap sinyal kesalahan, K_p . Hubungan antara pita proporsional (PB) dengan konstanta proporsional (K_p) ditunjukkan secara presentasi oleh persamaan :

$$PB = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan : $PB = \text{Proportional Band}$

$K_p = \text{Gain Proses}$

Diagram blok pengendali proportional ditunjukkan seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.11 Diagram Blok pengendali P
[Gunterus, 1994]

Penggunaan pengendali proporsional harus memperhatikan hal – hal berikut :

- Kalau nilai K_p kecil, kontroler proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
- Kalau nilai K_p dinaikkan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai keadaan mantapnya.
- Namun jika nilai K_p diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi

2.4.2 Pengendali Integral (I)

Kontroler integral memiliki karakteristik seperti halnya sebuah integrator. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan.

Transfer function dari unit kontrol integral adalah sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{T_I} K_c \int e \cdot dt \dots\dots\dots(2.5)$$

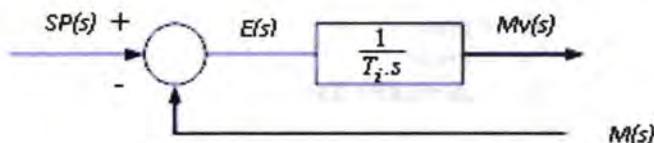
dimana,

T_I = integral time

e = error (input dari unit control)

K_c = gain dari controller

Diagram blok pengendali integral ditunjukkan oleh gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2.12 Diagram Blok pengendali I
[Gunterus, 1994]

Ketika digunakan, kontroler integral mempunyai beberapa karakteristik berikut ini:

- Keluaran kontroler membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung memperlambat respon.
- Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran kontroler akan bertahan pada nilai sebelumnya.
- Jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i
- Konstanta integral K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran kontroler

2.4.3 Pengendali Diferensial (D)

Keluaran kontroler diferensial memiliki sifat seperti halnya suatu operasi derivatif. Perubahan yang mendadak pada masukan kontroler, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat.

Transfer function dari kontrol *derivative* adalah sebagai berikut

$$U = K_c T_D \frac{de}{dt} \dots \dots \dots (2.6)$$

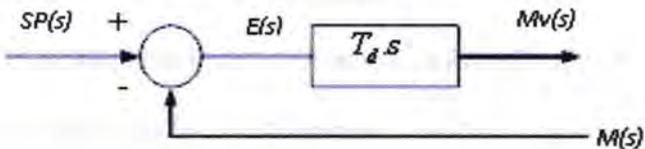
dimana,

K_C = gain

e = error

T_D = derivative time

Diagram blok pengendali diferensial ditunjukkan oleh gambar dibawah ini :



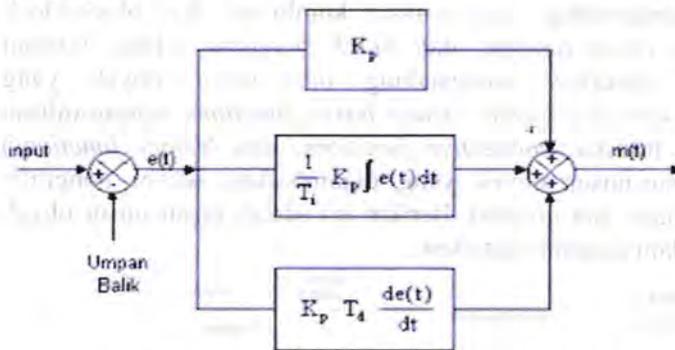
Gambar 2.13 Diagram Blok pengendali D
[Gunterus, 1994]

Adapun untuk karakteristik kontroler diferensial adalah sebagai berikut:

- Kontroler ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
- Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan kontroler tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
- Kontroler diferensial mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga kontroler ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan

menjadi sangat besar. Jadi kontroler diferensial dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Untuk menutupi kekurangan dari masing – masing pengendali, ketiga pengendali tersebut dapat saling dikombinasikan menjadi pengendali PI, PD atau PID. Dalam kombinasi PID, diagram bloknya menjadi seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.14 Diagram Blok pengendali PID
[Gunterus, 1994]

Keluaran kontroler PID merupakan jumlahan dari keluaran kontroler proporsional, keluaran kontroler integral dan keluaran kontrol diferensial.

$$u(t) = K_c (e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{de}{dt}) \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana,

$u(t)$ = sinyal kontrol

$e(t)$ = error

K_c = gain controller

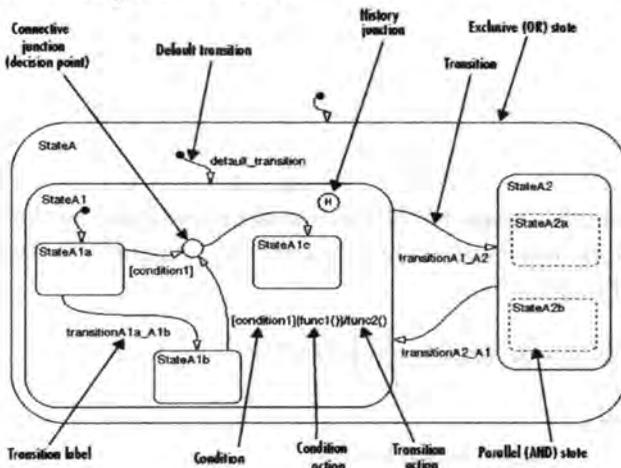
T_I = integral time

T_D = derivative time

Karakteristik kontroler PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Penyetelan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat disetel lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

2.5 Logic Solver (state flow)

Berbeda halnya dengan model simulink yang didalamnya hanya mengandung unsur-unsur kombinasi dari block-block simulink, *block toolbox*, dan *block stateflow*. Maka didalam diagram stateflow mengandung unsur-unsur obyek yang digambarkan secara grafis (*states boxes, functions, tulisan-tulisan perintah, transisi, connective junctions, dan history junctions*) serta unsur-unsur obyek yang digambarkan secara nongrafis (*events, data, dan targets*). Berikut ini adalah unsur-unsur obyek grafis dalam diagram stateflow.



Gambar 2.15 Unsur-unsur obyek grafis dari diagram stateflow

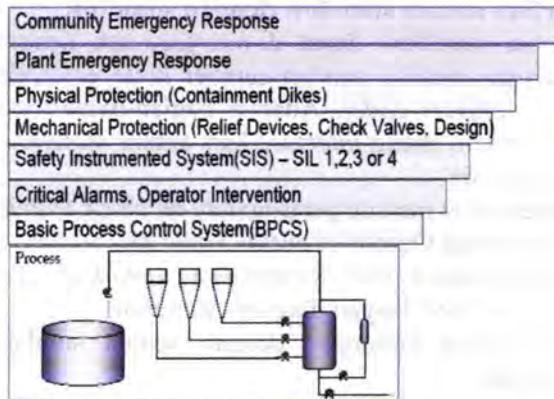
- **Interface antara stateflow dengan simulink**

Diagram stateflow dapat di-*interface*-kan dengan model simulink dengan melalui sumber-sumber kode eksternal seperti (*data, events, custom code*). Adapun bagian-bagian yang perlu diperhatikan dalam meng-*interface*-kan antara *stateflow* dengan simulink antara lain

- Menentukan metode peng-*update*-an *block Stateflow*
- Menentukan Output ke *events Simulink*
- Menambahkan dan menentukan *nonlocal events* dan *nonlocal data* dengan diagram *Stateflow*
- Menentukan hubungan dengan semua sumber-sumber eksternal

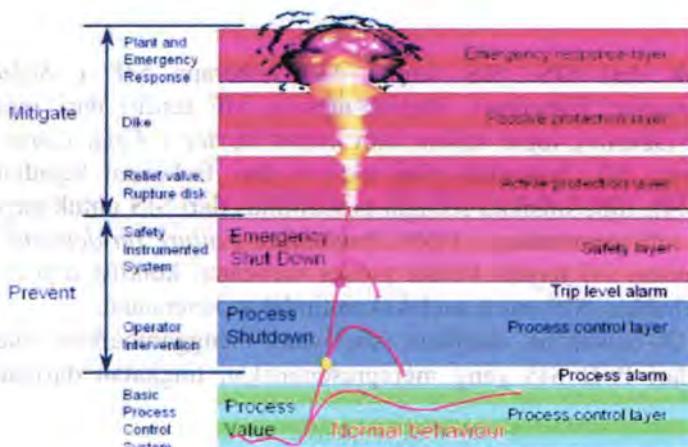
2.6 Lapisan Proteksi (*Layers of Protection*)

Setiap process plant berdasarkan standard keamanan yang ada harus ditopang oleh beberapa lapis proteksi. Seberapa banyak lapisannya tergantung seberapa potensial plant tersebut untuk terjadinya bahaya. *Process design* merupakan lapisan proteksi paling dasar. Ketika proses sudah terdesain dengan bagus, maka akan membantu untuk mencegah terjadinya bahaya. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini lapisan proteksi kedua setelah desain proses itu sendiri adalah sistem kontrol (*Basic Process Control System/BPCS*).



Gambar 2.16 Lapisan proteksi (Layers of Protection)
[Haikal, 2007]

Lapisan proteksi satu tingkat di atas sistem kontrol adalah alarm kritis. Dimana ketika alarm kritis ini berbunyi, pada tindakan pengamanan dengan intervensi operator baik di *control room* maupun di *plant* dilakukan agar sedini mungkin respon proses dapat dikembalikan ke posisi normal dimana sistem kontrol kemudian mampu untuk mengendalikannya kembali. Letak sistem kontrol proteksi (*Safety Instrumented System/SIS*) adalah di atas *critical alarm*, sehingga SIS ini baru benar-benar berfungsi jika tindakan operator tidak mampu mengamankan proses dengan kata lain alarm tetap berbunyi dan SIS selanjutnya mengambil alih tindakan pengamanan secara otomatis untuk membawa proses ke dalam kondisi aman. SIS yang dipasang pun memiliki performansi secara kuantitatif yang dapat dilihat dari tingkatan *Safety Integrity Level (SIL)*nya.



Gambar 2.17 Dinamika proses lapisan proteksi
[Haikal, 2007]

Gambar diatas memperjelas ilustrasi tingkatan lapisan proteksi yang ada pada gambar sebelumnya dimana secara grafis terlihat bahwa sistem kontrol (BPCS) menangani perilaku normal proses (*normal behavior*). Terlihat bahwa ada dua lapisan besar ketika proses beranjak pada kondisi yang tidak normal. Lapisan pencegahan (*prevention*) berusaha untuk mengembalikan proses pada kondisi normal sehingga proses berjalan seperti pada awalnya. Ketika lapisan pencegahan ini tak mampu *handle* proses, maka kemudian lapisan mitigasi (*mitigation*) beraksi untuk melakukan tindakan pengamanan yang bertujuan untuk mengurangi dampak resiko yang lebih besar.

2.7 Safety Integrity Level

Tinjauan dari *Safety Integrity Level* (SIL) berhubungan dengan standar ANSI/ISA 84.01-1996 dan IEC 61508. SIL adalah nilai ukur dari performansi *Safety Instrumented System* (SIS) yang hanya dihubungkan dengan *device* yang mengkonfigurasi SIS. Nilai ukur ini dibatasi pada integritas *device*, arsitektur, *testing* (pengujian), *diagnostic*, dan nilai kegagalan dari *device* yang sangat bertautan dengan desain

spesifik dari SIS. SIS terdiri dari beberapa SIF (*Safety Instrumented Function*). Masing-masing SIF terdiri dari *input device (sensor)*, *logic solver*, dan *output device (Final Control Element)*. SIL bukanlah nilai ukuran dari frekuensi kejadian, tetapi SIL didefinisikan sebagai probabilitas dari SIS untuk gagal ketika ada permintaan (*PDF/ Probability Failure on demand*). Permintaan ini terjadi ketika proses mencapai kondisi *trip* dan menyebabkan SIS untuk melakukan tindakan keamanan.

Di bawah ini disajikan tabel yang menggambarkan range nilai dari PFD SIS yang merepresentasikan tingkatan daripada SIL.

Tabel 2.1 Range nilai PFD yang merepresentasikan tingkatan SIL
[Angela Summers, 1998]

Safety Integrity Level		Availability Required	Probability to Fail on Demand	1/PFD	
IEC 61508	ISA ISA 84	4	>99.99%	E-005 to E-004	100.000 to 10.000
		3	99.90-99.99%	E-004 to E-003	10.000 to 1.000
		2	99.00 - 99.90%	E-003 to E-002	1.000 to 100
		1	90.00 - 99.00%	E-002 to E-001	100 to 10

- **Penentuan PFD SIF menggunakan prinsip *Fault Tree Analysis***

Dengan menggunakan prinsip dasar FTA, nilai $PFD_{Avg\ SIF}$ didefinisikan sebagai:

$$PFD_{Avg\ SIF} = PFD_{Avg\ SENSOR} + PFD_{Avg\ LOGIC\ SOLVER} + PFD_{Avg\ FINAL\ ELEMENT} \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk masing-masing elemen nilai PFD ditentukan oleh failure rate (λ), test interval (TI), dan konfigurasi SIS yang merepresentasikan kinerja dari elemen. Secara matematis nilai PFD masing-masing elemen didefinisikan sebagai berikut :

$$PFD_{AvgELEMENT} = \frac{\lambda_{ELEMENT} \cdot TI_{ELEMENT}}{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Nilai λ selain didapatkan dari data historis kegiatan *maintenance*, bisa juga didapatkan dengan menggunakan Database OREDA berdasarkan *bill of material*, dimensi, dan waktu operasi dari elemen. Salah satu database *failure rate* yang paling populer adalah database OREDA. Buku database tersebut menyajikan data analisa statistik secara detail dari masing-masing elemen/*process equipment*. Banyak *Safety Engineer* menggunakan data *failure rate* tersebut untuk menghitung dan memverifikasi tingkatan *safety*. Nilai PFD_{avg} SIS yang telah didapatkan merepresentasikan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) yang mana range penilaiannya dapat dilihat pada tabel di atas. Nilai SIL menunjukkan performansi secara numerik kuantitatif dari SIS yang dipakai. Dari Tabel diatas, dapat kita lihat bahwa SIL selain menunjukkan nilai PFD, juga menunjukkan tingkat *availability* dan tingkat penurunan resiko.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijabarkan mengenai tahap-tahap yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini mulai dari pemodelan proses pada *Unit Thermal Ventilation*, instrumen pendukung, *controller* dan sistem proteksi hingga simulasi dari model yang telah didapatkan tersebut dengan menggunakan *software* matlab-simulink untuk kemudian dilakukan analisa.



Gambar 3.1 Bagan metodologi penelitian

3.1 Penurunan Model Proses

Perilaku dan sifat dari suatu sistem dapat didekati atau diwakili oleh suatu model persamaan matematis dalam *domain* waktu berdasarkan beberapa asumsi yang digunakan. Model matematis dapat memberi gambaran hubungan antara *input* dan *output* sistem dari waktu ke waktu dan merupakan gambaran perilaku dari sistem itu sendiri. Berdasar dari diagram proses yang berlangsung pada UTV seperti yang telah di bahas pada bab II, maka dapat diturunkan model matematis proses dengan menggunakan beberapa asumsi sebagai berikut :

- Menggunakan Hukum Kekekalan Energi (*Energy Balance*)
- Di dalam UTV tidak ada energi yang di simpan.
- Perubahan kelembaban dan temperatur dalam UTV lebih utama dipengaruhi oleh laju aliran massa fluida yang melalui coil pemanas dan pendingin serta massa udara dari luar.
- Temperatur *cool water* dan *hot water* adalah konstan
- Laju aliran massa fluida masing-masing adalah konstan
- Kalor Spesifik dari masing-masing fluida adalah konstan
- Untuk penyerdehanaan model yang akan dibuat maka energi mekanik fluida dalam hal ini energi potensial dan energi kinetik diabaikan.
- *External heat losses* diabaikan

Sedangkan untuk kulit yang akan dikeringkan pada *Thema Dry Tunnel* TH009 dalam hal ini menggunakan inputan kulit dengan *batch no* 123917 dan *recipe no* 66, yaitu kulit dengan jenis *Dry Wet Blue color brown* dan memiliki ketebalan 2,4-2,6 cm. Kulit memasuki *sector 2* dengan kelembaban 22 – 26% *Relative Humidity*, sedangkan set point kontrol udara pada *Unit Thermal Ventilation* dipasang pada temperatur 40 celcius dan kelembaban 40%RH. Proses pengeringan pada *sektor 2* ini dilakukan pada saat siang hari dan berlangsung selama satu setengah jam untuk kemudian dilanjutkan memasuki pengeringan pada *sector* berikutnya.

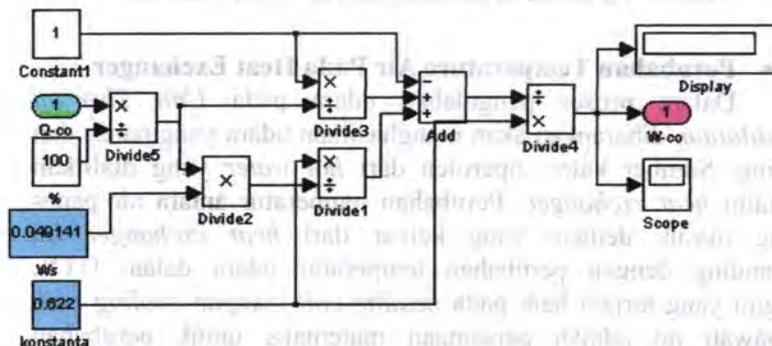
- **Konversi Parameter Kelembaban**

Data hasil pengukuran temperatur dan kelembaban udara luar, sangat di perlukan dalam proses pengolahan udara pada *Unit Thermal Ventilation*. Dalam hal ini kelembaban udara luar (*external humidity*) terukur oleh sensor dalam parameter *relative humidity*. Sedangkan berdasarkan hukum kekekalan energi untuk kalor laten, memanfaatkan parameter *humidity ratio*. Sehingga diperlukan suatu persamaan matematis yang dapat mengkonversi dari prosentase *relative humidity* menjadi *parameter humidity ratio* begitu pula sebaliknya.

Dibawah ini adalah persamaan matematis yang digunakan untuk mengkonversi dari prosentase *relative humidity* menjadi *humidity ratio* :

$$w = \frac{0.622}{\frac{1}{\phi} + \frac{0.622}{w_s} - 1} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dari model matematis yang telah didapatkan diatas, maka pemodelan yang di bangun dalam simulink seperti gambar di bawah ini :

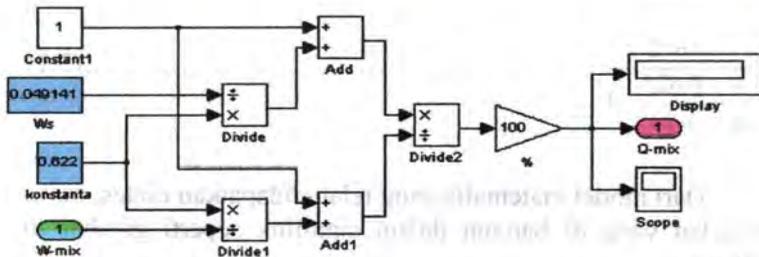


Gambar 3.2 Konversi *relative humidity* ke *humidity ratio*

Dibawah ini adalah persamaan matematis yang digunakan untuk mengkonversi dari *humidity ratio* menjadi prosentase *relative humidity*:

$$\phi = \frac{1 + \frac{0.622}{w_s}}{1 + \frac{0.622}{w}} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dari model matematis yang telah didapatkan diatas, maka pemodelan yang di bangun dalam simulink seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.3 Konversi *humidity ratio* ke *relative humidity*

• Perubahan Temperature Air Pada Heat Exchanger

Dalam proses pengolahan udara pada *Unit Thermal Ventilation*, diharapkan akan menghasilkan udara yang panas dan kering. Sumber kalor diperoleh dari *hot water* yang dialirkan melalui *heat exchanger*. Perubahan temperatur antara air panas yang masuk dengan yang keluar dari *heat exchanger* ini sebanding dengan perubahan temperatur udara dalam UTV. Begitu yang terjadi baik pada *heating coil* maupun *cooling coil*. Dibawah ini adalah persamaan matematis untuk perubahan temperature air dalam *heat exchanger* :

Pada Heating Coil

$$T_{hw,0} - T_{hw,1} = -(T_{hw,1} - T_{mix})(1 - e^{-K_2})$$

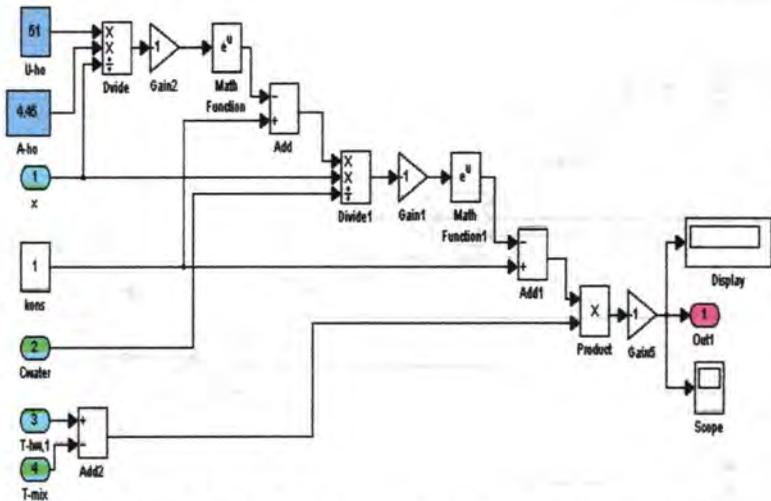
$$K_2 = \frac{m_{env} c_{p,hi}}{m_{hw} c_{p,hw}} (1 - e^{-K_1})$$

$$K_1 = \frac{U_{ho} A_{ho}}{m_{env} c_{p,hi}}$$

with : $c_{p,hi} = c_{p,a} + c_{p,hw} W_{mix}$

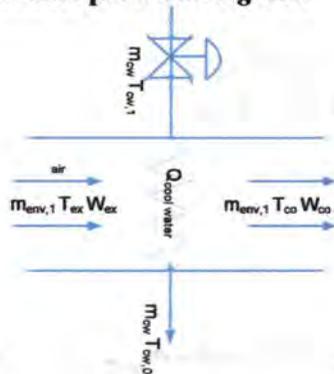
.....(3.4)

Dari model matematis yang telah didapatkan diatas, maka pemodelan yang di bangun dalam simulink seperti gambar di bawah ini :



Gambar 3.5 Perubahan temperature air dalam heating coil

3.1.1 Pemodelan Proses pada *Cooling Coil*



Gambar 3.6 Skema *Cooling coil*

Dari skema *cooling coil* diatas, maka dapat ditentukan besarnya energi input dan output. Karena air dari *chiller* mengalir masuk melalui *cooling coil* dan membentuk suatu siklus tertutup, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada energi yang tersimpan. Selain itu tidak terjadi pula suatu proses yang dapat membangkitkan energi. *Cooling coil* selain berfungsi untuk menurunkan temperatur dari udara yang melaluinya juga berfungsi untuk menurunkan kelembabannya melalui proses *kondensasi*, sehingga kalor yang dihasilkan oleh *cooling coil* adalah kalor sensibel dan kalor laten. Berdasarkan hukum kekekalan energi yang digunakan pada *cooling coil*, persamaannya adalah sebagai berikut :

• Untuk Kalor Sensible

$$E_{in} = m_{env1} c_{p,i} T_{ex} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,1}$$

$$E_{out} = m_{env1} c_{p,i} T_{co} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,0}$$

$$E_{st} = 0$$

$$E_g = 0$$

Energy_balance

$$\dot{E}_{st} = \dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out}$$

$$0 = m_{env1} c_{p,i} T_{ex} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,1} + 0 - m_{env1} c_{p,i} T_{co} - m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,0}$$

$$m_{env1} c_{p,i} (T_{ex} - T_{co}) = m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1})$$

with :

$$c_{p,i} = c_{p,a} + c_{p,cw} w_{ex}$$

$$Q_T = \frac{Q_S}{SHR}$$

$$Q_T = Q_W$$

$$\frac{Q_S}{SHR} = Q_W$$

$$m_{env1} c_{p,i} (T_{ex} - T_{co}) \frac{1}{SHR} = m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1})$$

$$m_{env1} (c_{p,a} + c_{p,cw} w_{ex}) (T_{ex} - T_{co}) \frac{1}{SHR} = m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1})$$

$$T_{co} = T_{ex} - \frac{m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1}) SHR}{m_{env1} (c_{p,a} + c_{p,cw} w_{ex})}$$

.....(3.5)

• Untuk Kalor Laten

$$E_{in} = m_{envl} HFG \cdot w_{ex} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,1}$$

$$E_{out} = m_{envl} HFG \cdot w_{co} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,0}$$

$$E_{st} = 0$$

$$E_g = 0$$

Energy_balance

$$E_{st} = E_{in} + E_g - E_{out}$$

$$0 = m_{envl} HFG \cdot w_{ex} + m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,1} + 0 - m_{envl} HFG \cdot w_{co} - m_{cw} c_{p,cw} T_{cw,0}$$

$$m_{envl} HFG (w_{ex} - w_{co}) = m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1})$$

with :

$$Q_T = Q_S + Q_L \text{ or } Q_T = \frac{Q_S}{SHR}$$

$$Q_T = Q_W$$

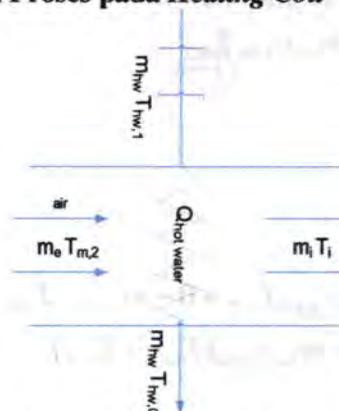
$$Q_L = Q_W (1 - SHR)$$

$$m_{envl} HFG (w_{ex} - w_{co}) = m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1}) (1 - SHR)$$

$$w_{co} = w_{ex} - \frac{m_{cw} c_{p,cw} (T_{cw,0} - T_{cw,1}) (1 - SHR)}{m_{envl} HFG}$$

.....(3.6)

3.1.2 Pemodelan Proses pada *Heating Coil*



Gambar 3.8 Skema *Heating coil*

Dari skema *heating coil* diatas, maka dapat ditentukan besarnya energi input dan output. Karena air dari *boiler* terus mengalir melalui *heating coil* dan membentuk suatu siklus tertutup, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada energi yang tersimpan dan tidak terjadi pula suatu proses yang dapat membangkitkan energi. *Heating coil* hanya berfungsi untuk menaikkan temperatur dari udara yang melewatinya, sehingga kalor yang dihasilkan hanyalah kalor *sensibel*. Berdasarkan hukum kekekalan energi yang digunakan pada *heating coil*, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$E_{in} = m_{env} c_{p,i} T_{mix} + m_{hw} c_{p,hw} T_{hw,1}$$

$$E_{out} = m_{env} c_{p,i} T_{inlet} + m_{hw} c_{p,hw} T_{hw,0}$$

$$E_{st} = 0$$

$$E_g = 0$$

Energy balance

$$E_{st} = E_{in} + E_g - E_{out}$$

$$0 = m_{env} c_{p,i} T_{mix} + m_{hw} c_{p,hw} T_{hw,1} + 0 - m_{env} c_{p,i} T_{inlet} - m_{hw} c_{p,hw} T_{hw,0}$$

$$m_{env} c_{p,i} (T_{mix} - T_{inlet}) = m_{hw} c_{p,hw} (T_{hw,0} - T_{hw,1})$$

with :

$$c_{p,i} = c_{p,a} + c_{p,hw} w_{mix}$$

$$Q_T = Q_S$$

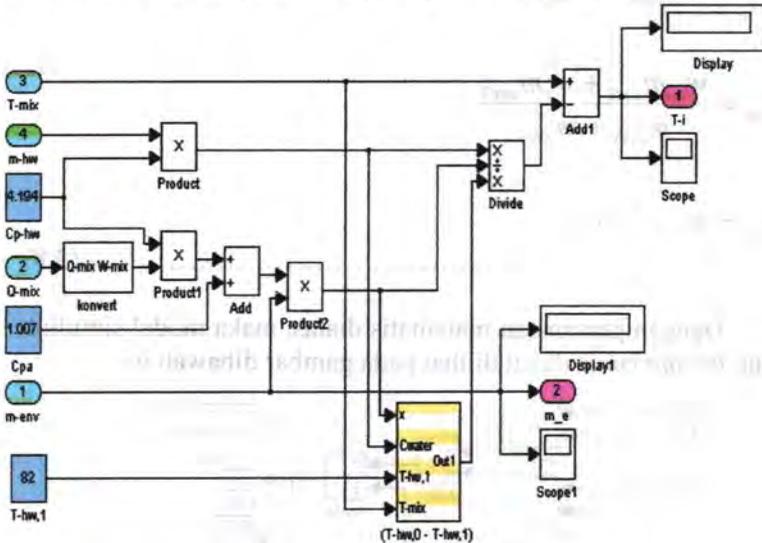
$$Q_T = Q_W$$

$$Q_S = Q_W$$

$$m_{env} (c_{p,a} + c_{p,hw} w_{mix}) (T_{mix} - T_{inlet}) = m_{hw} c_{p,hw} (T_{hw,0} - T_{hw,1})$$

$$T_{inlet} = T_{mix} - \frac{m_{hw} c_{p,hw} (T_{hw,0} - T_{hw,1})}{m_{env} (c_{p,a} + c_{p,hw} w_{mix})} \dots \dots \dots (3.7)$$

Dengan persamaan matematis diatas, maka model simulink untuk *heating coil* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.9 Model Simulink *Heating coil*

3.1.3 Pemodelan Proses pada *Mixing Room*

Mixing Room merupakan suatu ruangan yang di manfaatkan untuk mencampur udara dari luar yang telah dilewatkan *cooling coil* dengan udara dari dalam *tunnel*. Dalam proses pencampuran ini akan diperoleh temperatur dan kelembaban rata-rata serta total *mass flow* dari udara. Setelah terjadi percampuran dalam waktu yang relative singkat dalam *mixing room*, selanjutnya udara akan diproses melalui *heating coil*. Dibawah ini adalah persamaan matematis yang digunakan dalam *mixing room* :

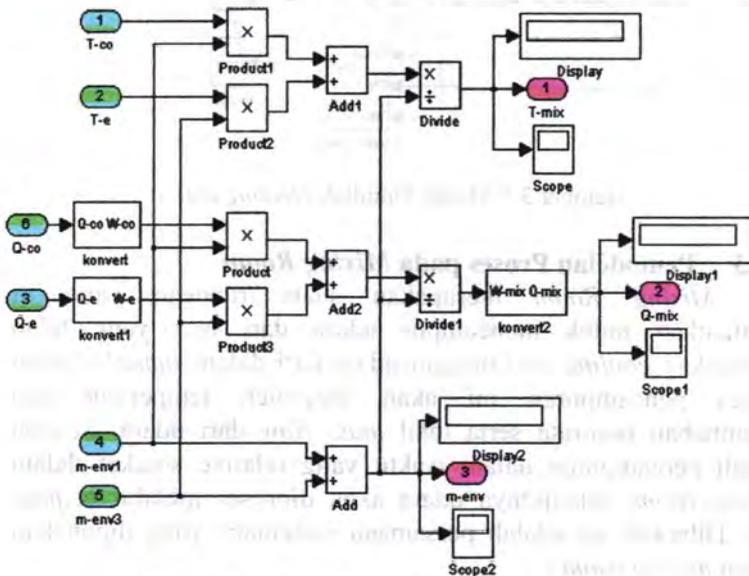
$$T_{mix} = \frac{T_{co} m_{env1} + T_e m_{env3}}{m_{env1} + m_{env3}}$$

$$W_{mix} = \frac{W_{co} m_{env1} + W_e m_{env3}}{m_{env1} + m_{env3}}$$

$$m_{env} = m_{env1} + m_{env3}$$

.....(3.8)

Dengan persamaan matematis diatas, maka model simulink untuk *mixing room* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



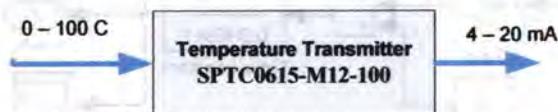
Gambar 3.10 Model Simulink *Mixing Room*

3.2 Pemodelan Instrumen-instrumen, Controller dan Logic Solver

3.2.1 Pemodelan Sensor

- **Temperatur Transmitter**

Sensor Temperatur yang digunakan berupa PT 100 Testa B. Temperatur transmitter berfungsi untuk mengirimkan sinyal dari parameter temperatur yang telah terukur oleh sensor untuk dikonversi ke besaran elektrik 4-20mA. Dalam hal ini PT 100 digunakan untuk mengukur *Environment temperature*, *inlet temperature* serta *external temperature*. Prinsip kerja dari sensor ini yaitu berdasarkan *Resistance Temperature Detector (RTD)* yang terbuat dari konduktor metal. Setiap metal mempunyai *koefisien resistansi spesifik* yang bervariasi terhadap temperatur dan ditentukan secara eksperimental. Sensor ini mengukur suhu udara yang berada disekitarnya dalam range 0 C sampai 100 C, kemudian akan menghasilkan resistansi sebesar 100 ohm pada suhu 0 C. Hambatan inilah yang kemudian diubah menjadi sinyal output sebesar 4 – 20 mA oleh transmitter.



Gambar 3.11 Diagram Blok temperatur Transmitter

Secara umum fungsi alih dari temperatur transmitter dapat didekati dengan persamaan dibawah ini

$$MV_{mA} = \frac{K_{TT} \cdot PV_T + B_{TT}}{\tau_{TT}s + 1} \dots \dots \dots (3.9)$$

Maka diperoleh *Gain transmitter*

$$K_{TT} = \frac{\text{Span_Keluaran}}{\text{Span_Variabel_Terukur}} = \frac{(20-4)mA}{(100-0)^{\circ}C} = 0.16 \text{ mA}^{\circ}C$$

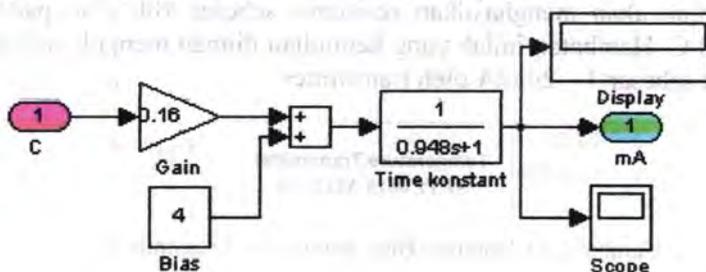
Dengan τ_T adalah time konstan yang besarnya adalah 63.2% dari waktu yang dibutuhkan oleh *transmitter* untuk mentransmisikan hasil bacaan terhadap *process variabel* sampai terbaca di *control room* yang selanjutnya akan diproses ke *controller*

$$\tau_{TT} = \frac{63.2}{100} \times 1.5s = 0.948s$$

Sehingga fungsi transfer dari ketiga *transmitter* adalah sebagai berikut

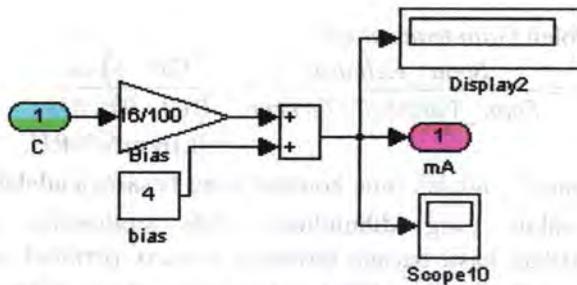
$$\frac{MV_{TT}}{PV_{TT}} = \frac{0.16}{0.948s + 1}$$

Dengan memberikan besarnya bias dari hubungan linier antara proses variabel dan manipulated variabel sebesar 4, maka berikut ini adalah model simulink dari *Temperature Transmitter*



Gambar 3.12 Pemodelan Simulink temperatur transmitter

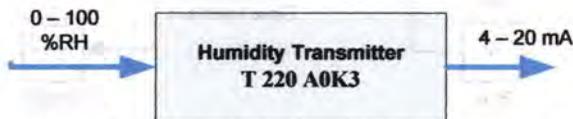
Dan berikut ini adalah pemodelan simulink untuk konversi dari inputan set point temperatur yang diberikan diubah menjadi sinyal elektrik 4-20mA :



Gambar 3.13 Pemodelan Simulink konversi temperatur ke arus

• Humidity Transmitter

Sensor Humidity yang digunakan berupa GEFTRAN *relative humidity* yang berfungsi untuk mengukur kadar uap air dalam udara, baik pada *Environment humidity*, *inlet humidity* maupun *external humidity*. *Relative humidity* didefinisikan sebagai rasio dari tekanan parsial uap air dalam gas campuran udara dan uap air dengan tekanan uap jenuh air pada suhu yang diberikan. Sedangkan *ratio humidity* dinyatakan sebagai rasio kilogram air menguap, m_w , per kilogram udara yang kering, m_a , di suatu tekanan. Sensor ini akan mengukur kelembaban udara yang berada disekitarnya dalam range 0%RH sampai 100%RH, kemudian akan menghasilkan arus sebesar 4mA sampai 20mA.



Gambar 3.14 Diagram Blok Humidity Transmitter

Secara umum fungsi alih dari *humidity* transmitter dapat didekati dengan persamaan dibawah ini

$$MV_{mA} = \frac{K_{HT} \cdot PV_H + B_{HT}}{\tau_{HT}s + 1} \dots\dots\dots(3.10)$$

Maka diperoleh *Gain transmitter*

$$K_{HT} = \frac{\text{Span}_{\text{Keluaran}}}{\text{Span}_{\text{Variabel}_{\text{Terukur}}}} = \frac{(20-4)\text{mA}}{(100-0)\%RH} = 0.16 \text{ mA}/\%RH.$$

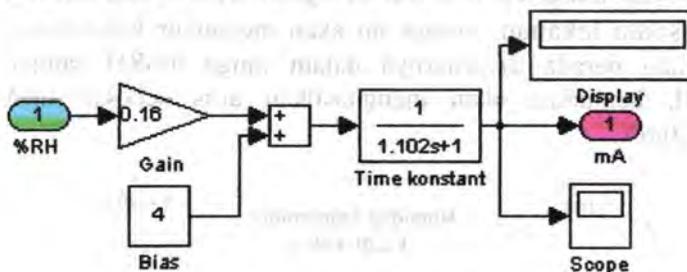
Dengan τ_T adalah time konstan yang besarnya adalah 63.2 % dari waktu yang dibutuhkan oleh *transmitter* untuk mentransmisikan hasil bacaan terhadap *process variabel* sampai terbaca di *control room* yang selanjutnya akan diproses ke *controller*

$$\tau_{HT} = \frac{63.2}{100} \times 1.74s = 1.102s$$

Sehingga fungsi transfer dari ketiga *transmitter* adalah sebagai berikut

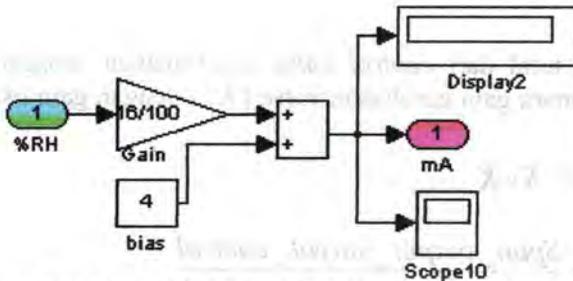
$$\frac{MV_{HT}}{PV_{HT}} = \frac{0.16}{1.102s + 1}$$

Dengan memberikan besarnya bias dari hubungan linier antara proses variabel dan manipulated variabel sebesar 4, maka berikut ini adalah model simulink dari *humidity Transmitter*



Gambar 3.15 Pemodelan Simulink *Humidity Transmitter*

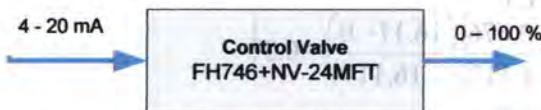
Dan berikut ini adalah pemodelan simulink untuk konversi dari inputan set point kelembaban yang diberikan diubah menjadi sinyal elektrik 4-20mA :



Gambar 3.16 Pemodelan Simulink konversi kelembaban ke arus

3.2.2 Pemodelan Control Valve

Dua buah *control valve* digunakan untuk mengatur laju aliran air dari *boiler* dan *chiller* yang mengalir melalui *heat exchanger*. *Heat exchanger* yang berada dalam *unit thermal ventilation* inilah yang nantinya akan dihembus oleh udara dari *fan* sehingga terjadi perpindahan kalor dari air ke udara disekitarnya. Temperatur air yang masuk melalui *control valve* ini dijaga agar konstan, tidak terpengaruh apapun jenis inputan kulit. Inputan *control valve* berupa sinyal keluaran *controller* yaitu 4-20mA yang mengakibatkan bukaan *valve* sebesar 0-100%. Besarnya bukaan *valve* ini yang mempengaruhi banyaknya *flow water* yang masuk, sebagian sisanya akan dilewatkan *by pass* untuk dikembalikan ke *boiler* atau *chiller*.



Gambar 3.17 Diagram Blok Globe Valve

Secara umum fungsi alih dari *control valve* dapat didekati dengan persamaan dibawah ini

$$\dot{m}_b(s) = \frac{K_{tot} \cdot U(s) + B_v}{\tau_v s + 1} \dots \dots \dots (3.11)$$

Gain total dari *control valve* didefinisikan sebagai hasil perkalian antara gain perubahan *valve* (K_v) dengan gain *aktuator* ($K_{actuator}$.)

$$K_{tot} = K_v K_{actuator}$$

$$K_v = \frac{\text{Span}_{\text{output sinyal control}}}{\text{Span}_{\text{input sinyal control}}} \\ = \frac{(100-0)\%}{(20-4)\text{mA}}$$

$$K_{actuator} = \frac{d}{dx} f(x) \times \frac{\text{output}_{\text{maks}}}{\text{Span}_{\text{output sinyal control}}} \\ = 1 \times \frac{100\%}{(100-0)\%}$$

$$K_{tot} = \frac{(100-0)\%}{(20-4)\text{mA}} \cdot \frac{100\%}{(100-0)\%} = 0.0625$$

Kemudian besar *Time Konstan control valve* dapat diperoleh dengan menuliskan persamaan

$$\tau_{cv} = \frac{Y_c}{C_v} (\Delta V + R_v)$$

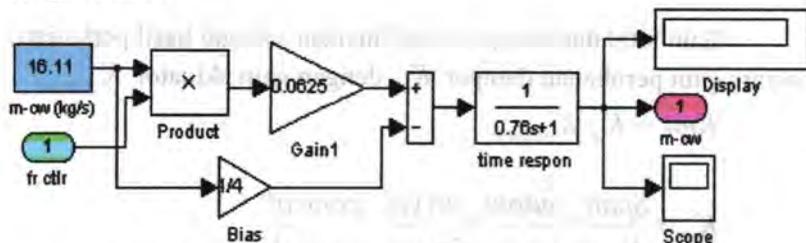
$$\tau_{cv} = \frac{0.676}{1.112} \left[\left(\frac{16.11-0}{16.11} \right) + 0.3 \right]$$

$$\tau_{cv} = 0.79\text{s}$$

Sehingga Fungsi Alih dari *kedua control valve* adalah sebagai berikut

$$\frac{m_b(s)}{U(s)} = \frac{0.0625}{(0.79s+1)}$$

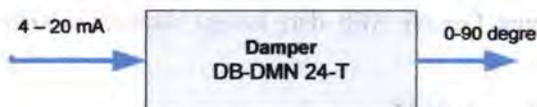
Berdasarkan pada fungsi transfer yang diperoleh diatas dan diagram blok maka didapat model simulink dari *control valve* sebagai berikut



Gambar 3.18 Pemodelan Simulink control valve

3.2.3 Pemodelan Damper

Damper merupakan sebuah kelep udara yang berfungsi untuk mengatur bukaan campuran udara antara bagian di suatu ruang dengan ruang lainnya. Dalam satu sektor UTV masing-masing memiliki 3 buah damper, yaitu yang berfungsi untuk membuang udara dari UTV ke lingkungan luar, untuk memasukkan udara dari lingkungan luar ke dalam UTV, serta untuk meneruskan udara dari *pick up fan* menuju *delivery fan*. Untuk damper nomer 1 dan 2 bekerja secara bersamaan, namun berkebalikan dengan damper nomer 3. Misalnya, jika damper nomer 2 akan membuang udara ke lingkungan luar sebanyak 40 % maka otomatis damper nomer 1 akan memasukkan udara ke dalam UTV sebesar 40% dan damper nomer 3 akan meneruskan udara sebesar 60%.



Gambar 3.19 Diagram Blok Damper

Secara umum fungsi alih dari *damper* dapat didekati dengan persamaan dibawah ini

$$\dot{m}_b(s) = \frac{K_{tot}U(s) + B_d}{\tau_d s + 1} \dots\dots\dots(3.12)$$

Gain total dari *damper* didefinisikan sebagai hasil perkalian antara gain perubahan damper K_d dengan gain aktuator $K_{actuator}$.

$$K_{tot} = K_d \cdot K_{actuator}$$

$$K_d = \frac{\text{Span_output_sinyal_control}}{\text{Span_input_sinyal_control}}$$

$$= \frac{(90^\circ - 0^\circ)}{(20 - 4)mA}$$

$$K_{actuator} = \frac{d}{dx} f(x) \times \frac{m_{max}}{\text{Span_output_sinyal_control}}$$

$$= 1 \times \frac{100\%}{(90^\circ - 0^\circ)}$$

$$K_{tot} = \frac{(90^\circ - 0^\circ)}{(20 - 4)mA} \cdot \frac{100\%}{(90^\circ - 0^\circ)} = 0.0625$$

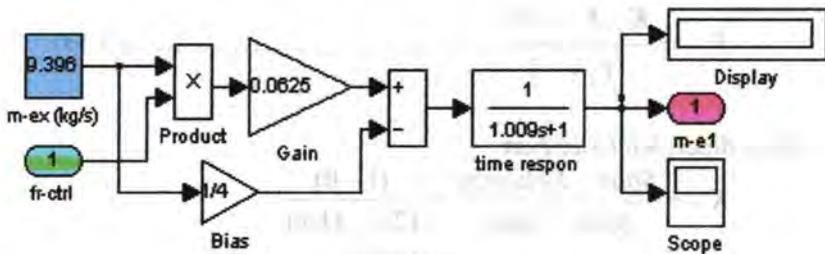
Dengan τ_d adalah time konstan yaitu sebesar :

$$\tau_d = \frac{63.2}{100} \times 1.59s = 1.009s$$

Sehingga Fungsi Alih dari ketiga damper adalah sebagai berikut

$$\frac{\dot{m}_b(s)}{U(s)} = \frac{0.0625}{(1.009s + 1)}$$

Berdasarkan pada fungsi transfer yang diperoleh diatas dan diagram blok maka didapat model simulink dari damper sebagai berikut



Gambar 3.20 Pemodelan Simulink damper

3.2.4 Pemodelan Fan

Fan berfungsi untuk menghembuskan udara dari satu bagian ke bagian ruangan yang lain. Dalam satu UTV masing-masing memiliki dua buah *fan*, yaitu *delivery fan* dan *pick up fan*. *Pick up fan* berfungsi untuk menghisap udara dari dalam *tunnel* dan menghembuskannya *mixing room*, atau membuangnya ke luar. Sedangkan *delivery fan* berfungsi untuk menghisap udara yang telah melalui *heating coil* dan menghembuskannya kembali ke dalam *tunnel*. Masing-masing fan bekerja dengan kecepatan konstan. Jika kedua *fan* dalam suatu sektor mati, maka tidak akan terjadi pengendalian kelembaban dan temperatur udara dalam sektor tersebut sehingga sektor tersebut dinyatakan OFF. Hal ini umumnya terjadi jika kulit yang akan diproses telah mencapai set point kelembaban yang diharapkan, maka sektor yang akan dilalui kulit otomatis akan dalam kondisi OFF dan langsung ke sektor berikutnya untuk diproses lagi dengan set point yang berbeda.



Gambar 3.21 Diagram Blok Fan

Secara umum fungsi alih dari *fan* dapat didekati dengan persamaan dibawah ini

$$F_{oy} = \frac{K_f \cdot F_{ax} + B_f}{\tau_f s + 1} \dots \dots \dots (3.13)$$

Maka diperoleh *Gain Fan*

$$K_f = \frac{\text{Span}_{\text{Keluaran}}}{\text{Span}_{\text{Input}}} = \frac{(1-0)}{(20-4)mA} = 0.0625$$

Dengan τ_f adalah time konstan yaitu sebesar :

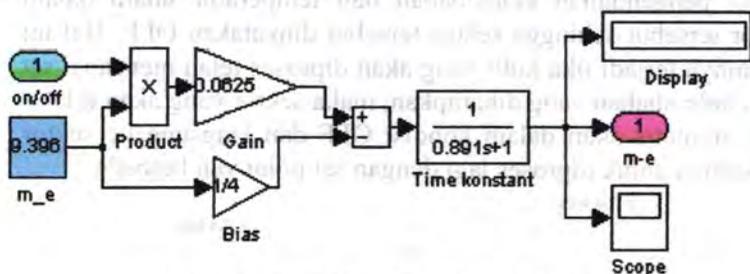
$$\tau_f = \frac{63,2}{100} \times 1.41s = 0.891s$$

Berdasarkan data spesifikasi dari *fan* yang digunakan, ternyata memiliki karakteristik yang sama di semua sektor.

Sehingga fungsi transfer dari kedua *fan* adalah sebagai berikut

$$\frac{F_{oy}}{F_{ax}} = \frac{0.0625}{0.891s + 1}$$

Dengan memberikan besarnya bias dari hubungan linier antara *proses variabel* dan *manipulated variabel* sebesar 4, maka berikut ini adalah model simulink dari *fan*

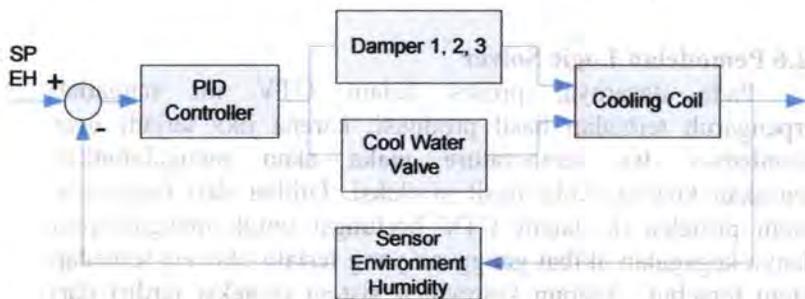


Gambar 3.22 Pemodelan Simulink *fan*

3.2.5 Pemodelan Controller

• Pengendalian Kelembaban

Udara dari dalam *tunnel* akan diukur kelembabannya menggunakan sensor kelembaban (*environment humidity*). Jika kandungan uap air dalam udara terlalu tinggi (udara basah), maka udara akan dibuang ke lingkungan luar untuk kemudian diambil udara baru dari lingkungan luar dengan kelembaban yang lebih rendah, selanjutnya diproses melalui *cooling coil*. Hal ini dimaksudkan agar terjadi *kondensasi* untuk mengurangi kandungan uap air dalam udara sehingga dihasilkan udara yang kering. Sedangkan jika udara dari dalam *tunnel* dirasa sudah cukup kering, maka udara akan dilewatkan melalui damper nomer 3 untuk di teruskan ke *mixing room*. Udara yang telah melalui proses ini akan diukur kembali kelembabannya sebelum dimasukkan ke dalam *tunnel* dengan sensor *inlet humidity*. Sensor ini hanya berfungsi sebagai *monitoring* dan *proteksi* untuk menjaga kelembaban udara yang akan dialirkan ke dalam *tunnel* agar tidak terlalu kering.



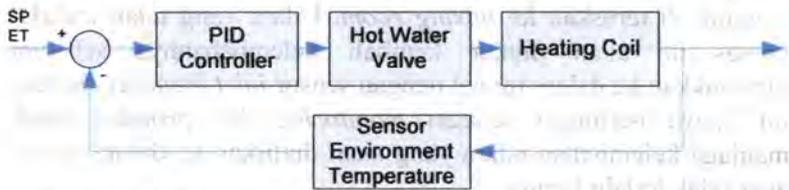
Gambar 3.23 Diagram Blok Sistem Pengendalian Kelembaban

• Pengendalian Temperatur

Udara dari dalam *tunnel* akan diukur temperaturnya menggunakan sensor *environment temperature*. Udara kemudian akan dihembuskan melewati *heating coil*. Jika suhu udara terlalu rendah maka *controller* akan memerintahkan untuk membuka



valve agar air panas dari *boiler* dapat mengalir lebih banyak. Sebaliknya jika suhu udara di dalam *tunnel* terlalu tinggi, maka *controller* akan mengurangi bukaan *valve*. Hal ini dimaksudkan agar terjadi perpindahan kalor dari air panas ke udara didalam UTV, karena suhu udara yang tinggi akan mempercepat untuk proses pengeringan kulit. Udara yang telah melalui proses ini akan diukur kembali temperaturnya sebelum dimasukkan ke dalam *tunnel* dengan sensor *inlet temperature*. Sensor ini hanya berfungsi sebagai *monitoring* dan *proteksi* untuk menjaga agar temperature udara di dalam *tunnel* terlalu panas, karena akan merusak kualitas dari kulit tersebut.



Gambar 3.24 Diagram Blok Sistem Pengendalian Temperature

3.2.6 Pemodelan Logic Solver

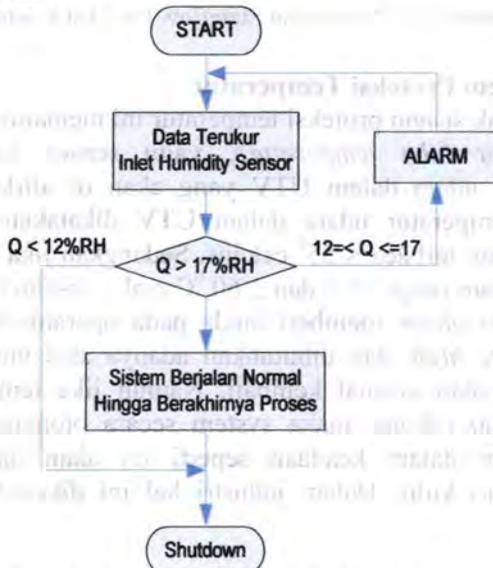
Pada dasarnya, proses dalam UTV ini sangatlah berpengaruh terhadap hasil produksi, karena jika terjadi *over* kelembaban dan temperature maka akan mengakibatkan kerusakan kualitas kulit hasil produksi. Dilihat dari fungsinya, sistem proteksi di dalam UTV berfungsi untuk mengantisipasi adanya kegagalan akibat gangguan yang terlalu *ekstrem* terhadap sistem tersebut. Adapun komponen sistem proteksi terdiri dari sensor, *logic server* dan *final element*.

Berikut ini adalah diagram *Logic Solver* pada *Unit Thermal ventilation* yang dimodelkan dalam bentuk *stateflow* :

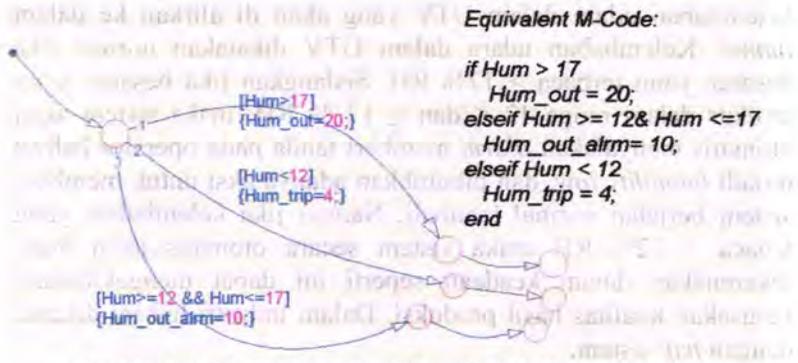
- **Sistem Proteksi Kelembaban**

Untuk sistem proteksi kelembaban ini memanfaatkan bacaan dari sensor *inlet humidity*, yaitu sensor yan membaca

kelembaban udara dalam UTV yang akan di alirkan ke dalam *tunnel*. Kelembaban udara dalam UTV dikatakan normal jika besaran yang terbaca $> 17\%$ RH. Sedangkan jika besaran yang terukur dalam range $12 \leq \text{dan} \leq 17\%$ RH, maka sistem akan otomatis menyalakan *alarm* memberi tanda pada operator bahwa terjadi *humidity low*, dan dibutuhkan adanya aksi untuk membuat sistem berjalan normal kembali. Namun jika kelembaban yang terbaca $< 12\%$ RH maka sistem secara otomatis akan mati, dikarenakan dalam keadaan seperti ini dapat mengakibatkan kerusakan kualitas hasil produksi. Dalam industri hal ini dikenal dengan *trip* sistem.



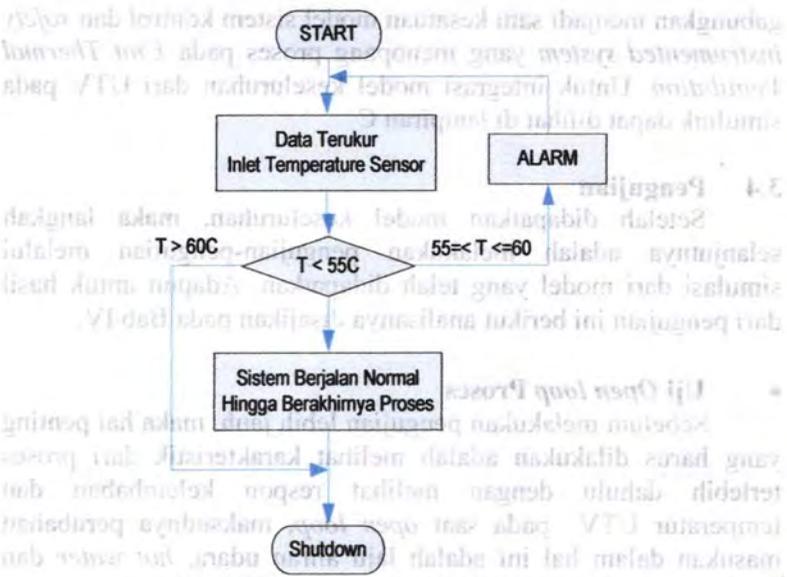
Gambar 3.25 Flowchart Proteksi kelembaban



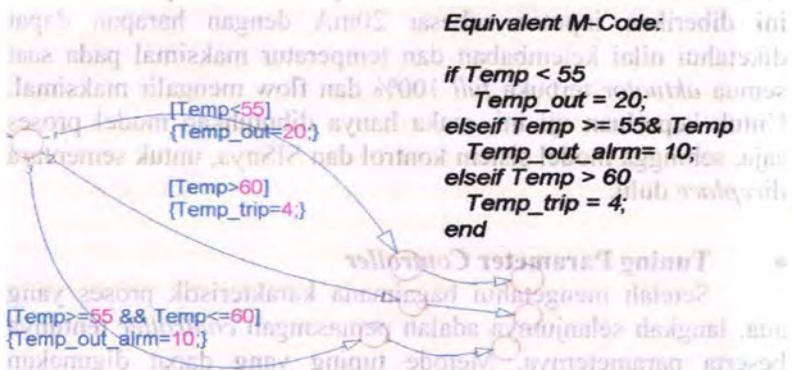
Gambar 3.26 Pemodelan Stateflow Proteksi kelembaban

- **Sistem Proteksi Temperatur**

Untuk sistem proteksi temperatur ini memanfaatkan bacaan dari sensor *inlet temperature*, yaitu sensor yang membaca temperatur udara dalam UTV yang akan di alirkan ke dalam *tunnel*. Temperatur udara dalam UTV dikatakan normal jika besaran yang terbaca $< 55^{\circ}$ celcius. Sedangkan jika besaran yang terukur dalam range $55 \leq$ dan $\leq 60^{\circ}$ C maka, sistem akan otomatis menyalakan *alarm* memberi tanda pada operator bahwa terjadi *temperature high*, dan dibutuhkan adanya aksi untuk membuat sistem berjalan normal kembali. Namun jika temperatur yang tebaca > 60 celcius, maka system secara otomatis akan mati, dikarenakan dalam keadaan seperti ini akan dapat merusak kualitas dari kulit. Dalam industri hal ini dikenal dengan *trip* sistem.



Gambar 3.27 Flowchart Proteksi temperature



Gambar 3.28 Pemodelan Stateflow Proteksi Temperatur

3.3 Integrasi Model Keseluruhan

Setelah didapatkan model proses pada *cooling coil*, *heating coil* dan *mixing room*. Serta model instrument transmitter, *control valve*, *damper* dan *fan*. Maka model-model tersebut akan di

gabungkan menjadi satu kesatuan model sistem kontrol dan *safety instrumented system* yang menopang proses pada *Unit Thermal Ventilation*. Untuk integrasi model keseluruhan dari UTV pada simulink dapat dilihat di lampiran C

3.4 Pengujian

Setelah didapatkan model keseluruhan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian-pengujian melalui simulasi dari model yang telah didapatkan. Adapun untuk hasil dari pengujian ini berikut analisisnya disajikan pada Bab IV.

- **Uji *Open loop* Proses**

Sebelum melakukan pengujian lebih jauh, maka hal penting yang harus dilakukan adalah melihat karakteristik dari proses terlebih dahulu dengan melihat respon kelembaban dan temperatur UTV pada saat *open loop*, maksudnya perubahan masukan dalam hal ini adalah laju aliran udara, *hot water* dan *cool water* diubah-ubah secara manual tanpa pemasangan *controller* untuk kemudian dilihat respon keluarannya. Dalam hal ini diberikan inputan sebesar 20mA dengan harapan dapat diketahui nilai kelembaban dan temperatur maksimal pada saat semua *aktuator* terbuka *full* 100% dan flow mengalir maksimal. Untuk keperluan uji ini, maka hanya dibutuhkan model proses saja, sehingga model sistem kontrol dan SISnya, untuk sementara *direplace* dulu.

- **Tuning Parameter *Controller***

Setelah mengetahui bagaimana karakteristik proses yang ada, langkah selanjutnya adalah pemasangan *controller* tentunya beserta parameternya. Metode tuning yang dapat digunakan adalah metode osilasi dimana parameter-parameter tersebut didapatkan berdasarkan respon *closed loop* dari sistem kontrol. Untuk melakukan pentuningan ini, dibutuhkan kesatuan antara model proses dengan sistem kontrol, sehingga sistem proteksi untuk sementara *direplace* terlebih dahulu. Untuk mendapatkan

parameter PID dalam proses pentuningannya, sistem kontrol belum dihadapkan dengan adanya *load*. Tuning dengan metode osilasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Dengan menset nilai parameter K_p tanpa T_i dan T_d , dapatkan respon sistem kontrol dalam kondisi *sustain oscillation*.
2. Nilai K_p yang didapat pada point 1 sehingga respon sistem kontrol dalam keadaan *sustain oscillation* digunakan sebagai *ultimate gain* (K_u).
3. Dari respon sistem kontrol, dapatkan periode osilasi. Periode inilah yang kemudian disebut sebagai *ultimate periode* (P_u).
4. Dengan nilai K_u dan P_u , dapatkan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan tabulasi parameter pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.1 Parameter hasil tuning dengan metode Osilasi

Ziegler-Nichols PID Controller		
K_p	T_i	T_d
$0.6K_u$	$0.5P_u$	$0.125P_u$
Tyreus Luben PID Controller		
K_p	T_i	T_d
$0.455K_u$	$2.2P_u$	$0.158P_u$

Jika dengan metode teoritis sebagaimana dijelaskan sebelumnya belum bisa mendapatkan parameter *controller* yang baik, maka digunakanlah metode empiris yaitu dengan mekanisme *trial and error*.

• Pengujian Sistem Kontrol

Setelah mendapatkan parameter *controller* terbaik, langkah selanjutnya adalah menanamkan parameter tersebut dalam *controller* dan menguji performansi sistem kontrol. Uji yang dilakukan terhadap sistem kontrol diantaranya adalah uji sistem pengendalian dengan inputan step, uji *tracking set point*, dan uji *tracking load leather dan external*. Performansi respon dapat

dilihat secara kualitatif melalui nilai *Maximum overshoot* (M_p) dan *time settling* (t_s) dan *Error steady state* (E_{ss}). Untuk menentukan nilai M_p , t_s dan E_{ss} , dapat langsung melihat *trend grafis* dari respon sistem kontrol.

- **Pengujian Sistem Proteksi (SIS)**

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana SIS bekerja ketika terjadi *over* kelembaban dan temperatur. Dengan pengujian ini, dapat dilihat apakah SIS yang sudah diprogramkan bisa bekerja sesuai dengan keinginan atau tidak. Pengujian ini dilakukan secara *open loop* dimana *Transmitter* diberikan masukan yang berubah-ubah sesuai dengan kondisi tingkatan yang harus diproteksi kemudian dilihat *output* daripada sistem proteksi.

3.5 Perhitungan *Safety Integrity level* (SIL)

Untuk mengetahui performansi SIS secara kuantitatif yang hanya didasarkan pada konfigurasi *device* SIS dapat dilihat dari nilai SIL-nya. Untuk menghitung SIL, harus diketahui terlebih dahulu konfigurasi SIS dan nilai PFD (*Probability Failure on Demand*) dari masing-masing komponen SIS. Untuk menentukan nilai PFD, *failure rate* masing-masing komponen harus dicari terlebih dahulu melalui database OREDA karena data-data *historical maintenance* tidak tersedia di perusahaan. Biar bagaimana pun data *failure rate* dari OREDA tidak akan sama dengan data yang dicari melalui *historical maintenance*, tetapi setidaknya bisa mendekati dan penentuan SIL pada Tugas Akhir ini bisa disajikan walaupun dengan nilai *failure rate* dari *hand book*.

Penentuan SIL menggunakan metode *Fault Tree Analysis*. Nilai SIL juga mencerminkan faktor pengurangan resiko (*Risk Reduction Factor*) yang dimiliki oleh SIS.

3.6 Formulasi dan Simulasi Efek *Failure Rate* Instrumen

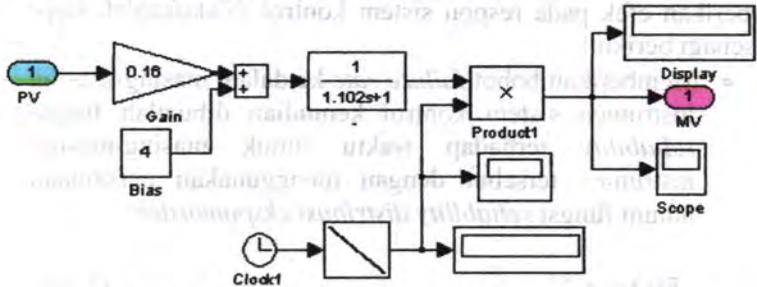
Untuk membuktikan hipotesa bahwa *reliability* instrumen memberikan efek pada respon sistem kontrol dilakukanlah step-step sebagai berikut:

- Memberikan bobot *failure rate* ke dalam masing-masing instrumen sistem kontrol kemudian dibuatlah fungsi *reliability* terhadap waktu untuk masing-masing instrumen tersebut dengan menggunakan persamaan umum fungsi *reliability distribusi eksponensial*.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(3.13)$$

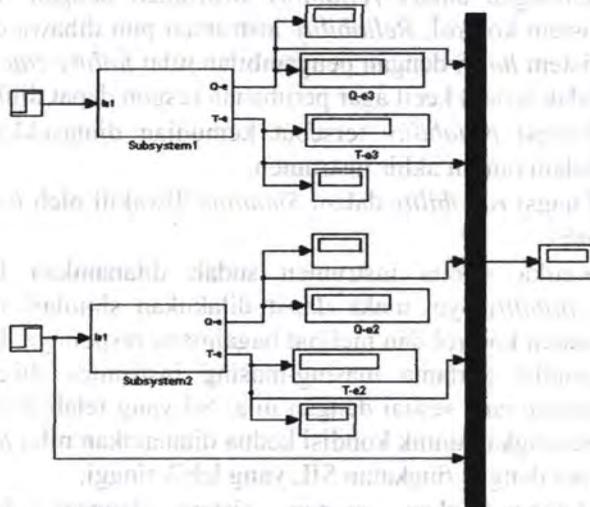
- Untuk mempermudah dalam pensimulasian, kerangka waktu model sistem kontrol yang menggunakan sistem waktu detik perlu diubah untuk mencari bagaimana hubungan antara *reliability* instrumen dengan respon sistem kontrol. *Reliability* instrumen pun dibawa dalam sistem *hour*, dengan pengambilan nilai *failure rate* yang tidak terlalu kecil agar perubahan respon dapat dilihat.
- Fungsi *reliability* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam output akhir instrumen.
- Fungsi *reliability* dalam *Simulink* diwakili oleh *look-up table*.
- Ketika semua instrumen sudah ditanamkan fungsi *reliability*-nya, maka dapat dilakukan simulasi model sistem kontrol dan melihat bagaimana responnya. Untuk kondisi pertama masing-masing instrumen diberikan *failure rate* sesuai dengan nilai *Sil* yang telah dihitung. Sedangkan untuk kondisi kedua ditanamkan nilai *failure rate* dengan tingkatan *SIL* yang lebih tinggi.
- Membandingkan respon sistem kontrol dengan perbedaan fungsi *reliability* untuk masing-masing kondisi *failure rate* seperti dijelaskan pada *point* 5.

Adapun tampilan model instrumen yang telah diboboti dengan *Reliability* Instrumen, sebagai contoh pada *humidity transmitter* dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 3.29 Pembobotan fungsi realibilty pada instrumen

Kemudian tampilan guna pengambilan data perbandingan respon kontrol untuk keperluan ini dapat dilihat pada gambar di bawah :



Gambar 3.30 Respon sistem kontrol dengan memasukkan fungsi reliability

3.7 Penarikan Kesimpulan Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini adalah dihasilkannya kesimpulan yang merupakan jawaban dari permasalahan yang dirumuskan sebelumnya.

BAB IV

PENGUJIAN DAN

ANALISA HASIL SIMULASI

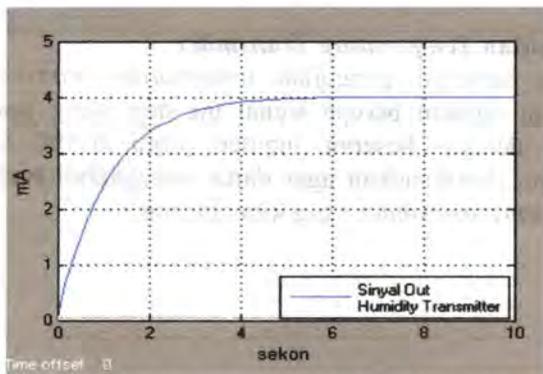
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL SIMULASI

Pada bab IV ini akan ditampilkan hasil analisa pemodelan simulink matlab yang telah dibahas pada bab sebelumnya (Bab III). Analisa yang dilakukan adalah dengan menganalisa grafik respon proses sistem pengendalian kelembaban dan temperatur, serta Safety Instrumented System (SIS) dan pengaruh reliability yang ditanamkan pada sistem proteksi yang telah kita rancang. Sehingga pada akhirnya akan menjawab tujuan yang telah ditetapkan pada Bab I.

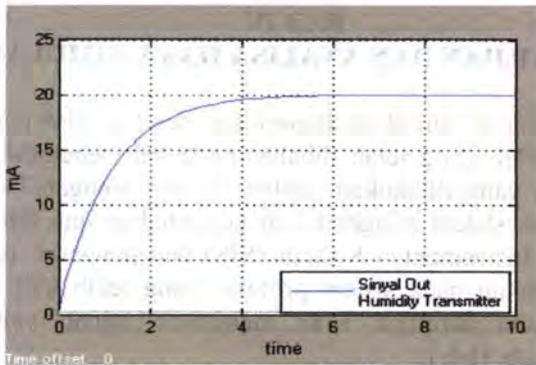
4.1 Pengujian Instrumen

4.1.1 Pengujian Humidity Transmitter

Untuk simulasi pengujian *humidity transmitter* ini menggunakan inputan berupa signal uji step, yang besarnya disesuaikan dengan besaran inputan yaitu 0–100%RH. Pada pengujian ini, dimaksudkan agar dapat mengetahui performansi dari *humidity transmitter* yang kita rancang.



Gambar 4.1 Hasil pengujian *humidity transmitter* dengan signal inputan 0%RH

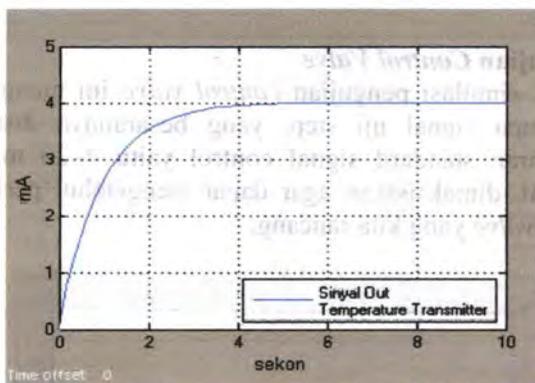


Gambar 4.2 Hasil pengujian *humidity transmitter* dengan signal inputan 100%RH

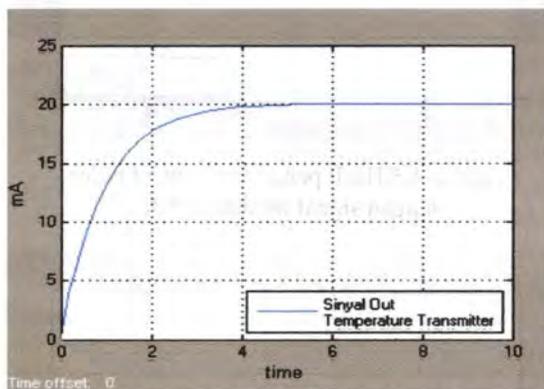
Dari hasil simulasi diketahui bahwa *humidity transmitter* dapat bekerja dengan baik, yaitu ditandai dengan sinyal output yang dihasilkan. Jika diberikan inputan 0%RH maka *humidity transmitter* mampu mengeluarkan sinyal sebesar 4 mA, dan jika diberi inputan 100%RH, maka akan mengeluarkan sinyal sebesar 20 mA

4.1.2 Pengujian *Temperature Transmitter*

Untuk simulasi pengujian *temperatura transmitter* ini menggunakan inputan berupa signal uji step, yang besarnya disesuaikan dengan besaran inputan yaitu 0–100 C. Pada pengujian ini, dimaksudkan agar dapat mengetahui performansi dari *temperature transmitter* yang kita rancang.



Gambar 4.3 Hasil pengujian *temperature transmitter* dengan inputan 0 C

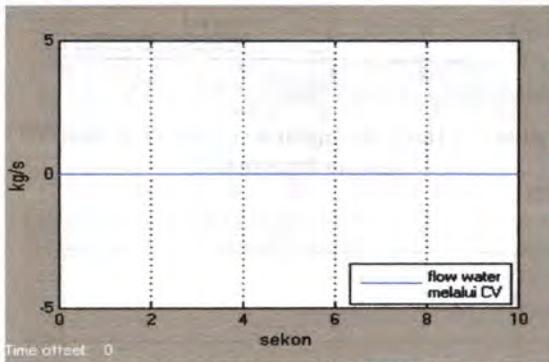


Gambar 4.4 Hasil pengujian *temperature transmitter* dengan inputan 100 C

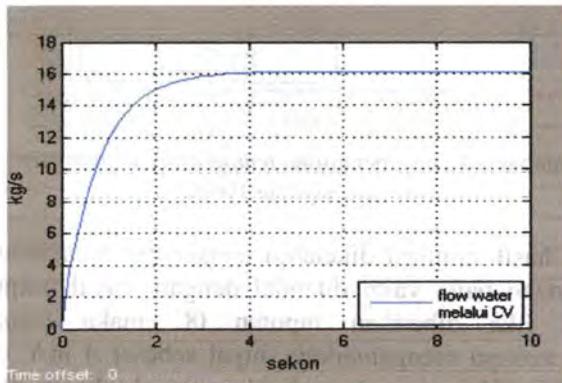
Dari hasil simulasi diketahui *temperatur transmitter* dapat bekerja dengan baik, yaitu ditandai dengan sinyal output yang dihasilkan. Jika diberikan inputan 0C maka *temperature transmitter* mampu mengeluarkan sinyal sebesar 4 mA, dan jika diberi inputan 100C, akan mengeluarkan sinyal sebesar 20 mA

4.1.3 Pengujian Control Valve

Untuk simulasi pengujian *control valve* ini menggunakan inputan berupa signal uji step, yang besarnya disesuaikan dengan besaran standard signal control yaitu 4–20 mA. Pada pengujian ini, dimaksudkan agar dapat mengetahui performansi dari *control valve* yang kita rancang.



Gambar 4.5 Hasil pengujian *control valve* dengan signal inputan 4 mA

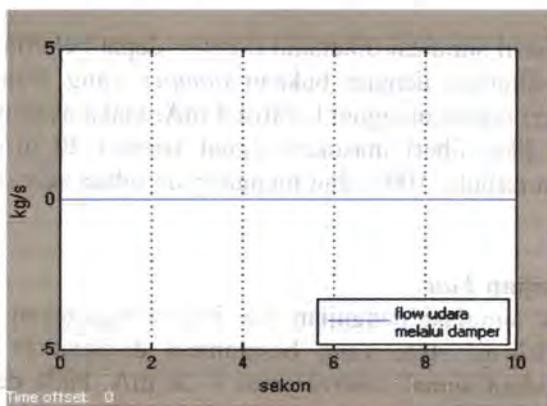


Gambar 4.6 Hasil pengujian *control valve* dengan signal inputan 20 mA

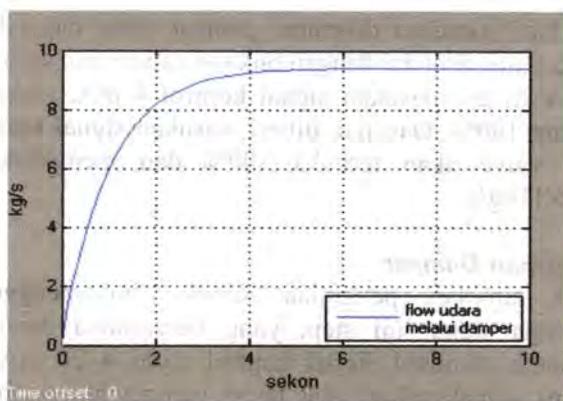
Dari hasil simulasi diketahui *control valve* dapat bekerja dengan baik, yaitu ditandai dengan bukaan valve yang sesuai. Jika *control valve* diberi masukan signal kontrol 4 mA, maka *valve* akan menutup 100%. Dan jika diberi masukan signal kontrol 20 mA, maka *valve* akan terbuka 100% dan mengalirkan air sebanyak 16.11kg/s.

4.1.4 Pengujian *Damper*

Untuk simulasi pengujian *damper* ini menggunakan inputan berupa signal uji step, yang besarnya disesuaikan dengan besaran standard signal kontrol yaitu 4–20 mA. Pada pengujian ini, dimaksudkan agar dapat mengetahui performansi dari *damper* yang kita rancang.



Gambar 4.7 Hasil pengujian *damper* dengan signal inputan 4 mA

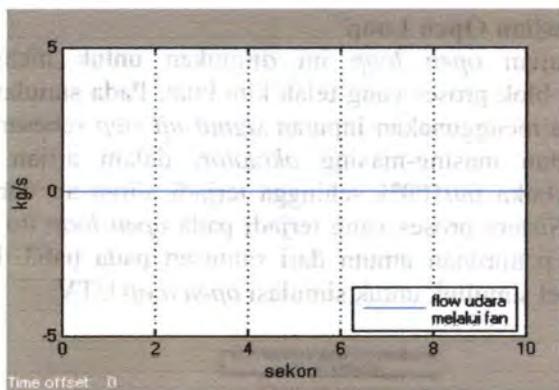


Gambar 4.8 Hasil pengujian damper dengan signal inputan 20 mA

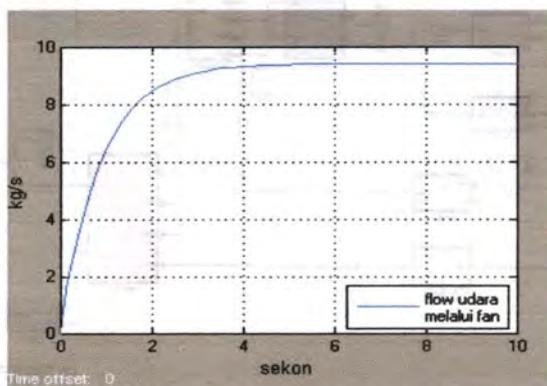
Dari hasil simulasi diketahui *damper* dapat bekerja dengan baik, yaitu ditandai dengan bukaan *damper* yang sesuai. Jika *damper* diberi masukan signal kontrol 4 mA, maka akan menutup 100%. Dan jika diberi masukan signal kontrol 20 mA, maka damper akan terbuka 100% dan mengalirkan udara sebesar 9.369 kg/s.

4.1.5 Pengujian Fan

Untuk simulasi pengujian *fan* ini menggunakan inputan berupa signal uji step, yang besarnya disesuaikan dengan besaran standard signal control yaitu 4–20 mA. Pada pengujian ini, dimaksudkan agar dapat mengetahui performansi dari *fan* yang kita rancang.



Gambar 4.9 Hasil pengujian fan dengan signal inputan 4 mA

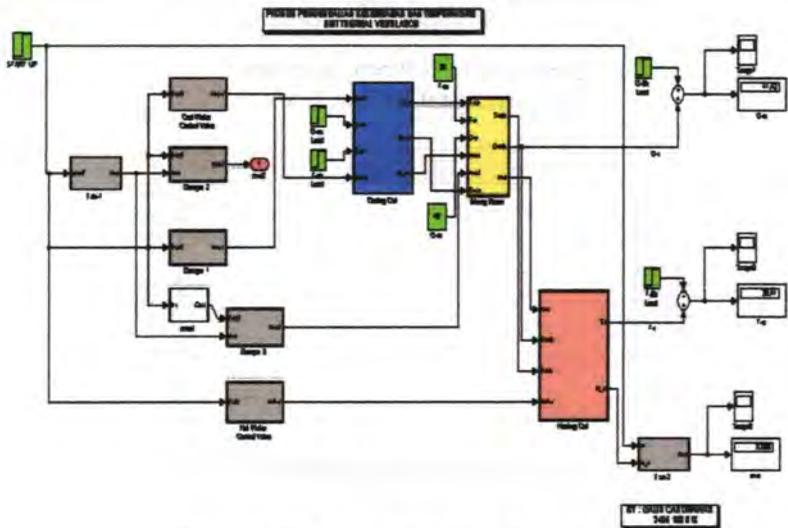


Gambar 4.10 Hasil pengujian fan dengan signal inputan 20 mA

Dari hasil simulasi diketahui *fan* dapat bekerja dengan baik. Jika *fan* diberi masukan signal kontrol 4 mA, maka fan akan OFF. Dan jika *fan* diberi masukan signal kontrol 20 mA, maka akan ON dan mengalirkan udara sebesar 9.369 kg/s.

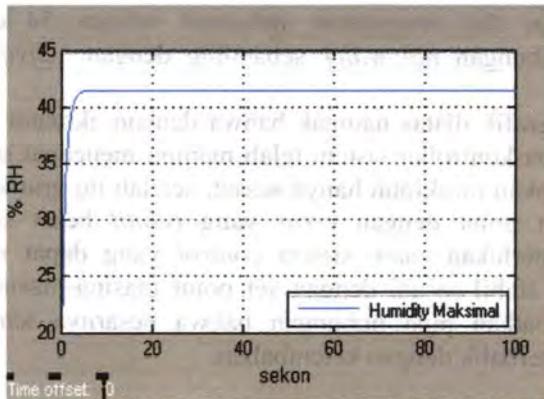
4.2 Pengujian Open Loop

Pengujian *open loop* ini ditujukan untuk mengetahui kinerja dari blok proses yang telah kita buat. Pada simulasi *open loop* ini kita menggunakan inputan *signal uji step* sebesar 20mA untuk inputan masing-masing *aktuator*, dalam artian semua *aktuator* terbuka *full* 100% sehingga terjadi aliran air dan udara maksimal. Sistem proses yang terjadi pada *open loop* itu sendiri merupakan penurunan umum dari rumusan pada bab3. Berikut adalah model simulink untuk simulasi *open loop* UTV.



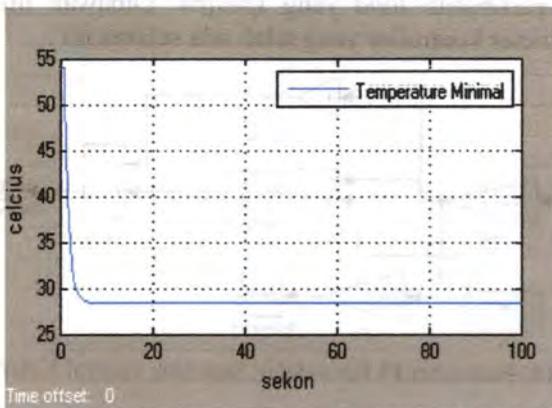
Gambar 4.11 Pemodelan Open Loop UTV

Dan dari hasil simulasi *open loop* yang telah dirancang maka didapatkan grafik respon *environment humidity* dan *environment temperatur* seperti gambar di bawah ini :



Gambar 4.12 Respon *Environment Humidity Openloop* UTV

Dalam hal ini dengan laju aliran *cool water* maksimal sebesar 16,11kg/s sistem mampu mencapai kelembaban maksimal sebesar 41,42% RH dan kelembaban minimal 22,3%, sehingga hubungan *cool water* dingin sebanding dengan *environment humidity*



Gambar 4.13 Respon *Environment Temperatur Openloop* UTV

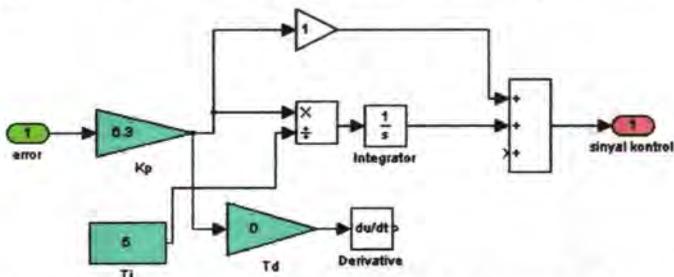
Sedangkan dengan laju aliran maksimal *hot water* sebesar 16,11 kg/s sistem mampu mencapai temperatur minimal sebesar

28,41 celcius dan temperatur maksimal sebesar 54 celcius., sehingga hubungan *hot wáter* sebanding dengan *environment temperatur*.

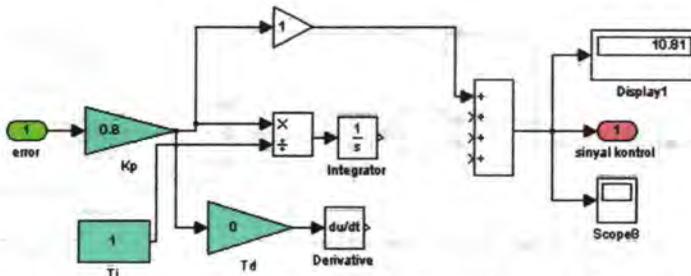
Dari grafik diatas nampak bahwa dengan aktuator bukaan *full* dan tanpa kontroller sistem telah mampu mencapai set point yang diharapkan meskipun hanya sesaat, setelah itu grafik respon melebihi set point dengan *error* yang *relatif* besar sehingga nantinya diperlukan suatu sistem *control* yang dapat menjaga sistem agar stabil sesuai dengan set point masing-masing. Dari grafik didapatkan pula hubungan bahwa besarnya temperatur berbanding terbalik dengan kelembaban.

4.3 Tuning Parameter Controller

Selama ini sistem *control* yang telah ada di PT.ECCO tannery Indonesia adalah menggunakan PID manual, dengan kontroller *type* PI untuk kontrol kelembaban dan kontroller *type* P untuk kontrol temperatur. Namun dilihat dari respon sistem secara operasional masih belum dapat berjalan optimal, nampak dari *error*nya yang cukup besar serta ketidakmampuan sistem menangani perubahan *load* yang *spesifik*. Dibawah ini adalah tuning parameter kontroller yang telah ada selama ini :



Gambar 4.14. Parameter PI Pemodelan Simulink control Kelembaban

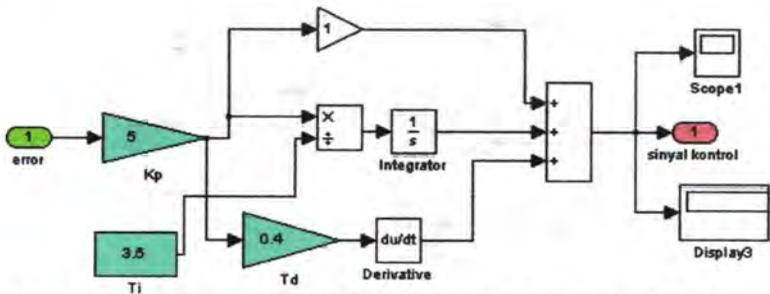


Gambar 4.15 Parameter P Pemodelan Simulink control Temperatur

Untuk mendapatkan respon sistem yang lebih *optimal*, maka diperlukan *tuning* parameter controller baru *type* PID dengan menggunakan hasil rancangan simulasi. *Tuning* PID dilakukan untuk mendapatkan parameter PID Controller yang terbaik yaitu G_c , T_R , dan T_d . Adapun *tuning* yang dilakukan pada simulasi ini dengan menggunakan metode empiris yakni *try and error*. *Tuning* dengan metode *try and error* ini dilakukan karena sangat sulit untuk mendapatkan parameter PID dengan metode teoritis. Kelemahan *tuning* dengan metode *try and error* ini adalah membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mendapatkan parameter PID yang terbaik. Kriteria parameter PID terbaik yang akan diambil sebagai parameter PID kontrol yakni dengan melihat grafik respon mencapai *steady state* dan *overdamped*. Setelah lama dilakukan *tuning* dengan *try and error* maka akhirnya didapatkan parameter PID terbaik sebagai berikut

Untuk kontrol kelembaban didapatkan *tuning* parameter controller terbaik adalah :

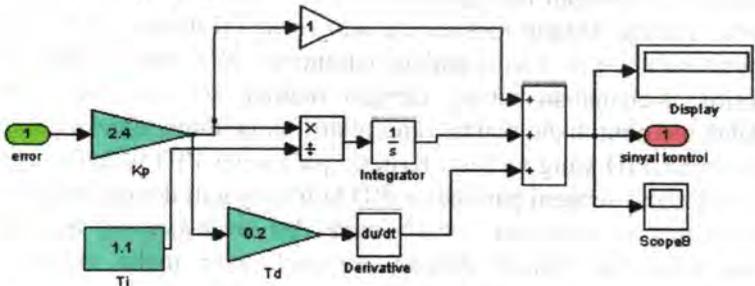
- $K_p = 5$
- $T_i = 3.5$
- $T_d = 0.4$



Gambar 4.16 Tuning PID Pemodelan Simulink control Kelembaban

Sedangkan untuk kontrol temperature didapatkan *tuning* parameter *controller* terbaik adalah :

- $K_p = 2.4$
- $T_i = 1.1$
- $T_d = 0.2$



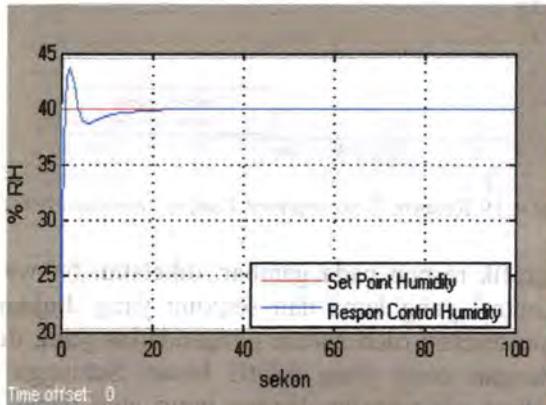
Gambar 4.17 Tuning PID Pemodelan Simulink control Temperatur

4.4 Pengujian Sistem Pengendalian Dengan Masukan Step

Setelah proses yang terjadi pada kondisi sistem open loop berjalan dengan sempurna. Maka perlu diuji pula sistem pengendalian dengan uji step, yaitu dengan memberikan masukan berupa setpoint yang sesuai dengan kondisi real plant. Pada pengujian ini akan diberikan input step 40% RH dan 40 C. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem pengendalian yang telah kita rancang agar mampu mengatasi

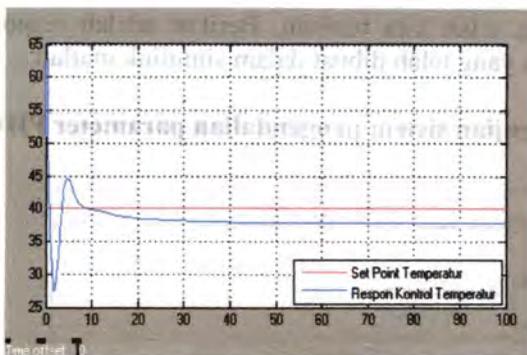
setpoint yang telah kita berikan. Berikut adalah respon sistem pengendalian yang telah dibuat dalam simulink matlab.

4.4.1 Pengujian sistem pengendalian parameter PID lama



Gambar 4.18 Respon *Environment humidity* parameter PI

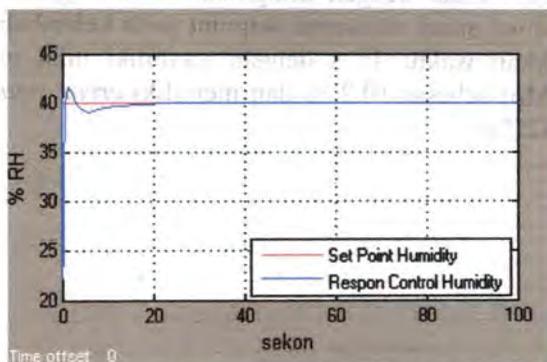
Dari grafik respon pada gambar, diketahui bahwa dengan parameter kontrol yang lama dan setpoint yang diujikan 40% RH masih mampu teratasi oleh sistem pengendalian yang dirancang. Sehingga mampu dikatakan bahwa uji setpoint dengan input step dapat berjalan sesuai dengan diinginkan. Dalam grafik respon diketahui bahwa untuk mencapai setpoint pada kelembaban 40% RH, dibutuhkan waktu 47 s dengan memiliki nilai *maximum overshoot* (M_p) sebesar 10.2 % dan memiliki *error steady state* sebesar 0.0425%.



Gambar 4.19 Respon *Environment Temperatur* parameter P

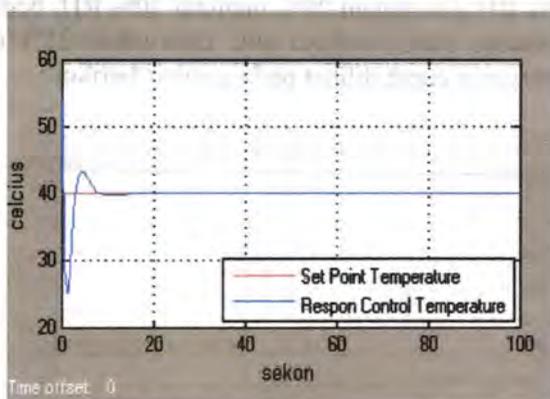
Dari grafik respon pada gambar, diketahui bahwa dengan parameter kontrol yang lama dan setpoint yang diujikan 40 C masih mampu teratasi oleh sistem pengendalian yang dirancang meskipun dengan error yang relatif besar. Sehingga mampu dikatakan bahwa uji setpoint dengan input step dapat berjalan sesuai dengan diinginkan. Dalam grafik respon diketahui bahwa untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 27 s dengan memiliki nilai *maximum overshoot* (M_p) sebesar 11.25 % dan memiliki error *steady state* sebesar 4.2 %.

4.4.2 Pengujian sistem pengendalian parameter PID baru



Gambar 4.20 Respon *Environment Humidity* Parameter PID baru

Dari grafik respon pada gambar, diketahui bahwa setpoint yang diujikan pada uji step 40% RH mampu teratasi oleh sistem pengendalian yang dirancang. Sehingga mampu dikatakan bahwa uji setpoint dengan input step dapat berjalan sesuai dengan diinginkan. Dalam grafik respon diketahui bahwa untuk mencapai setpoint pada kelembaban 40% RH, dibutuhkan waktu 31 s dengan memiliki nilai *maximum overshoot* (Mp) sebesar 4.25 % dan memiliki *error steady state* sebesar 0.0375%.



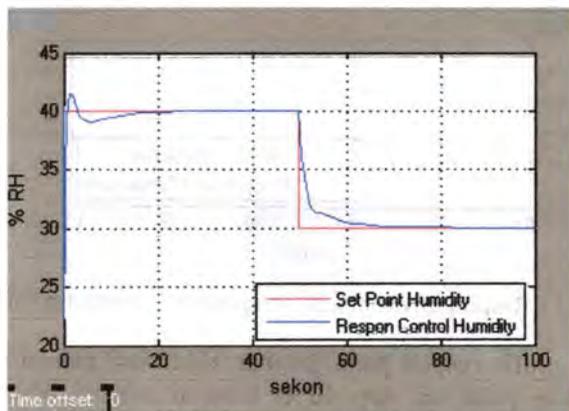
Gambar 4.21 Respon Environment Temperature Parameter PID baru

Dari grafik respon pada gambar, diketahui bahwa setpoint yang diujikan pada uji step 40 C mampu teratasi oleh sistem pengendalian yang dirancang. Sehingga mampu dikatakan bahwa uji setpoint dengan input step dapat berjalan sesuai dengan diinginkan. Dalam grafik respon diketahui bahwa untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 24 s dengan memiliki nilai *maximum overshoot* (Mp) sebesar 7.5 % dan memiliki *error steady state* sebesar 0.03%.

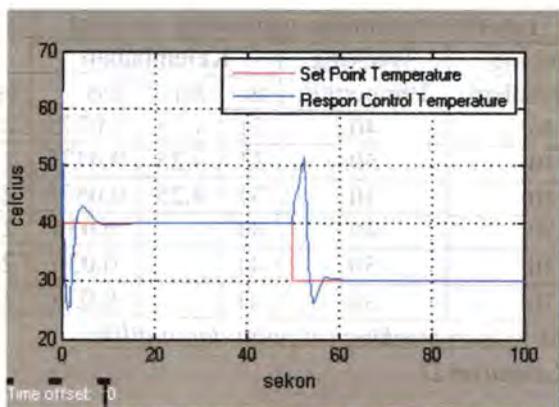
4.5 Pengujian Dengan Tracking Set Point

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian, dengan cara menaikkan atau menurunkan *setpoint* dalam hal ini yaitu kelembaban dan temperatur sebesar harga yang sudah ditentukan. Tujuan dari dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui respon *control* ketika set point dinaikkan/diturunkan 25% apakah *controller* masih mampu mengejar setpoint sesuai dengan yang diinginkan.

Sebagai contoh, *setpoint* kelembaban yang awalnya berharga 40% RH diturunkan 25% menjadi 30% RH, begitu pula untuk temperature yang awalnya 40C diturunkan 25% menjadi 30C, dan responnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.22 Respon kontrol kelembaban tracking setpoint turun 25%



Gambar 4.23 Respon kontrol temperatur
tracking setpoint turun 25%

Pada gambar diatas, dapat terlihat grafik yang merepresentasikan respon dari kontrol kelembaban dan temperatur. Untuk kontrol kelembaban, pada saat set point diturunkan dari 40% RH menjadi 30% RH, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar setpoint. Pada detik ke 50 setpoint diturunkan menjadi 30% RH sehingga untuk mengejar set point kedua ini respon membutuhkan waktu 41 detik. Respon ini tidak memiliki *overshoot* namun mempunyai *error steady state* sebesar 0.036 %.

Sedangkan untuk kontrol temperatur, pada saat set point diturunkan dr 40 C menjadi 30 C, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih juga handal dalam mengejar setpoint. Pada detik ke 50 setpoint diturunkan menjadi 30 C sehingga untuk mengejar set point kedua ini respon membutuhkan waktu 27 detik. Respon ini memiliki maksimum *overshoot* 71.6% dan mempunyai *error steady state* sebesar 0.1 %.

Untuk berbagai variasi pengujian *tracking set point*, dengan cara yang sama di dapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Performansi uji tracking set point

No	Tracking Kelembaban	Tracking Temperatur	Kelembaban			Temperatur		
			ts	Mp	Ess	ts	Mp	Ess
1	40	40	31	4.25	0.0375	24	7.5	0.0
2	40	50	31	4.25	0.0375	21	0.8	0.0
3	40	30	31	4.25	0.0375	22	-	1.2
4	30	40	41	-	0.036	29	30	0.1
5	30	50	41	-	0.036	24	17	0.0
6	30	30	41	-	0.036	27	71.6	0.

Note : Grafik respon tracking set point dapat dilihat di Lampiran D

Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa sistem masih dapat bekerja pada kondisi normal operation dengan perubahan set point sebesar $\pm 25\%$, yaitu untuk temperature $30 < T > 50$ Celcius dan untuk kelembaban hanya dijaga dalam range $30 < Q > 40\%RH$

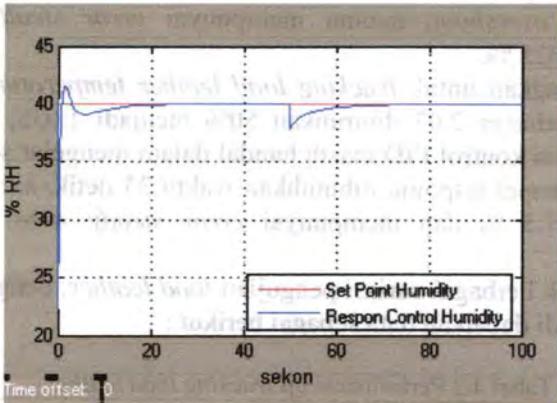
Dari hasil pengujian variasi tracking set point dapat disimpulkan bahwa perubahan set point temperature tidak mempengaruhi respon kelembaban, sedangkan untuk perubahan set point kelembaban sangat berpengaruh terhadap respon temperatur. Hal ini disebabkan adanya proses yang berurutan antara *cooling coil* ke *heating coil*.

4.6 Pengujian Load

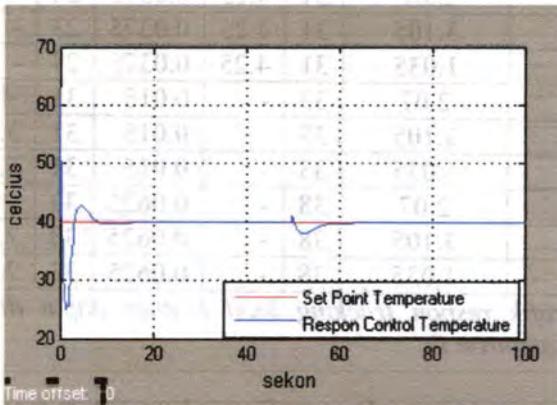
Pengujian *load* ini dilakukan dengan memberikan gangguan secara *internal*, yaitu dengan memberikan uji pada keadaan jika *load* temperatur dan kelembaban kulit yang masuk naik / turun sebesar 50%, selain itu diberikan pula uji gangguan perubahan terhadap temperatur dan kelembaban udara *external*. Dari uji beban ini dapat dilihat grafik respon dari sistem kontrol seperti pada gambar di bawah ini:

• Penguujian Load Leather

Sebagai contoh, *load leather humidity* yang awalnya berharga 4.3 diturunkan 50% menjadi 2.15 dan *load leather temperature* yang awalnya berharga 2.07 diturunkan 50% menjadi 1.035, sehingga responnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.25 Respon kontrol kelembaban tracking load leather naik 50%



Gambar 4.26 Respon kontrol temperatur tracking load leather naik 50%

Pada gambar diatas, dapat terlihat grafik yang merepresentasikan respon dari kontrol kelembaban dan temperatur. Untuk *tracking load leather humidity* yang awalnya berharga 4.3 diturunkan 50% menjadi 2.15, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar setpoint. Untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 38 detik, tidak memiliki *maksimum overshoot*, namun mempunyai *error steady state* sebesar 0.0625 %.

Sedangkan untuk *tracking load leather temperature* yang awalnya berharga 2.07 diturunkan 50% menjadi 1.035, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar setpoint. Untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 33 detik, *maksimum overshoot* 7.5 % dan mempunyai *error steady state* sebesar 0.15%.

Untuk berbagai variasi pengujian *load leather*, dengan cara yang sama di dapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.2 Performansi uji *tracking load leather*

No	Tracking Kelembaban	Tracking Temperatur	Kelembaban			Temperatur		
			ts	Mp	Ess	ts	Mp	Ess
1	4.3	2.07	31	4.25	0.0375	24	7.5	0.03
2	4.3	3.105	31	4.25	0.0375	23	-	0.0075
3	4.3	1.035	31	4.25	0.0375	27	-	0.0075
4	6.45	2.07	33	-	0.015	31	4.5	0.075
5	6.45	3.105	33	-	0.015	31	3.75	0.075
6	6.45	1.035	33	-	0.015	31	5.5	0.0375
7	2.15	2.07	38	-	0.0625	33	5	0.05
8	2.15	3.105	38	-	0.0625	33	7.5	0.15
9	2.15	1.035	38	-	0.0625	33	7.5	0.15

Note : Grafik respon *tracking load leather* dapat dilihat di Lampiran D

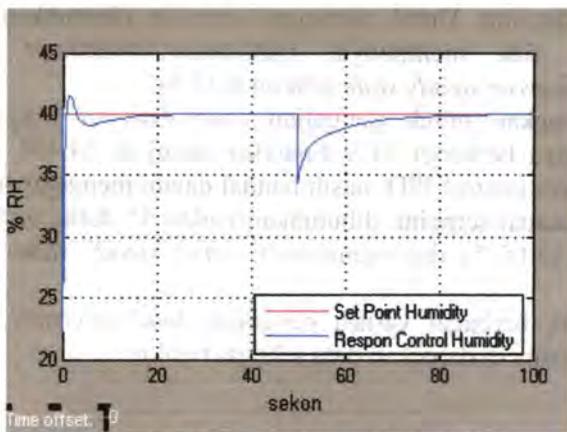
Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa sistem masih dapat bekerja pada kondisi normal operation dengan perubahan load leather mencapai kenaikan maksimal 50% yaitu untuk

temperature 3,105 Celcius dan untuk kelembaban adalah 6,45%RH. Jika terjadi perubahan diluar batas tersebut maka akan mengakibatkan parameter yang terukur pada sensor inlet diluar batas aman dan sistem kontrol tidak mampu lagi untuk mengcover, sehingga sistem proteksi lah yang bekerja.

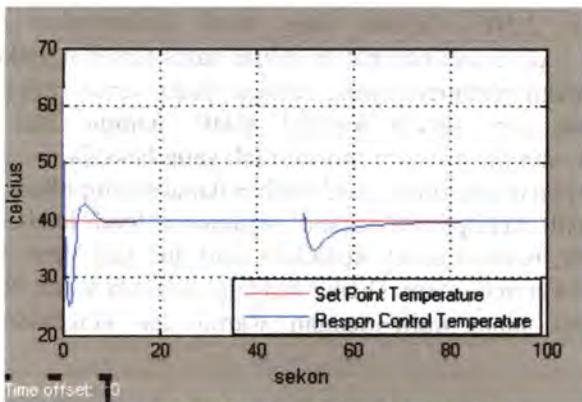
Dari hasil pengujian load leather dapat disimpulkan bahwa sistem masih mampu mengatasi perubahan load leather yang relatif besar, bahkan untuk kenaikan load dua kali lipat. Hal ini disebabkan karena sistem Thema sengaja didesain untuk berbagai variasi jenis input kulit dengan warna dan ketebalan yang berbeda.

- **Pengujian Beban External**

Sebagai contoh, *load external humidity* yang awalnya berharga 56,9 diturunkan sesuai data oprasional minimal menjadi 52.687 sedangkan untuk *load external temperatur* yang awalnya berharga 33.5 dinaikkan menjadi 34.404, dan responnya dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.27 Respon kontrol kelembaban tracking load external maksimal



Gambar 4.28 Respon kontrol temperatur tracking load external maksimal

Pada gambar diatas, dapat terlihat grafik yang merepresentasikan respon dari kontrol kelembaban dan temperatur. Pada saat *load external humidity* yang awalnya berharga 56,9 diturunkan sesuai data oprasional minimal menjadi 52.687, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar setpoint. Untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 45 detik, tiak mempunyai *maksimum overshoot* namun mempunyai *error steady state* sebesar 0.15 %.

Sedangkan untuk pengujian *load external temperature* yang awalnya berharga 33.5 dinaikkan menjadi 34.404, terlihat bahwa sistem kontrol PID masih handal dalam mengejar setpoint. Untuk mencapai setpoint, dibutuhkan waktu 45 detik, *maksimum overshoot* 13.05 % dan mempunyai *error steady state* sebesar 0.175 %.

Untuk berbagai variasi pengujian *load external*, dengan cara yang sama di dapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.3 Performansi uji tracking load external

No	Tracking Kelembaban	Tracking Temperatur	Kelembaban			Temperatur		
			ts	Mp	Ess	ts	Mp	Ess
1	56.9	33.5	31	4.25	0.0375	24	7.5	0.03
2	53.79	34.722	45	-	0.075	37	11.25	0.15
3	58.709	32.118	31	-	0.125	23	6.25	0.0675
4	60.503	33.043	30	-	0.008	46	8.5	0.175
5	52.687	34.404	45	-	0.15	45	13.5	0.175

Note : Grafik respon tracking load external dapat dilihat di Lampiran D

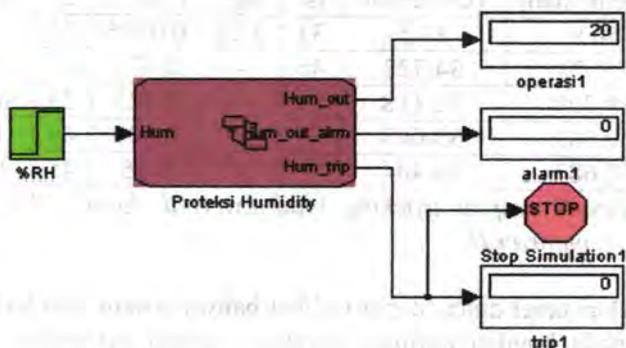
Dari tabel diatas dapat terlihat bahwa sistem masih dapat bekerja pada kondisi normal operation dengan perubahan load external untuk temperature dalam range $32,118 < T > 34,722$ C dan untuk kelembaban adalah $52,687 < Q > 60,503$ %RH. Jika terjadi perubahan diluar batas tersebut maka akan mengakibatkan parameter yang terukur pada sensor inlet diluar batas aman dan sistem kontrol tidak mampu lagi untuk mengcover, sehingga sistem proteksi lah yang bekerja.

Dari hasil pengujian tracking load external dapat disimpulkan bahwa sistem hanya mampu mengatasi perubahan load external dalam range yang relatif sempit. Hal ini mengakibatkan proses pengeringan kulit sangat bergantung oleh kelembaban dan temperatur udara luar. untuk menyiasati hal ini umumnya input kulit disesuaikan dengan kondisi udara luar. Misalnya untuk kulit yang relatif tebal dilaksanakan pengeringan pada siang hari, begitu pula sebaliknya.

4.7 Pengujian Sistem Interlock / SIS (state flow)

Setelah proses pengendalian berjalan sesuai dengan kondisi plant yang diinginkan, maka perlu dirancang sebuah sistem proteksi yang bekerja saat terjadi kondisi *ekstrem*. Dalam kaitannya dengan kondisi *ekstrem* di UTV adalah kondisi *over* kelembaban dan temperatur. Berikut adalah pemodelan sistem interlock (state flow) yang dirancang dalam simulasi UTV. Untuk

lebih jelasnya, kinerja sistem SIS akan digambarkan pada gambar dibawah ini.



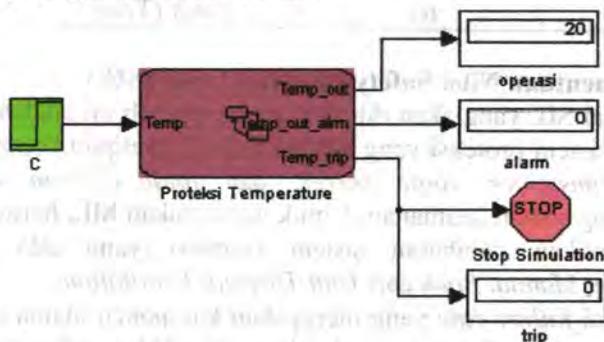
Gambar 4.29 Stateflow humidity interlock sistem

Dalam gambar diatas merepresentasikan system UTV pada saat *normal operation* yaitu kelembaban diatas 17% RH, sehingga pada keadaan ini, sistem kontrol masih mampu mengejar set point yang ditetapkan oleh operator. Namun untuk inputan kelembaban dalam range $12 < Q < 17$ akan menyebabkan sistem mengaktifkan alarm tanda bahaya, dan untuk tindak lanjutnya diperlukan campur tangan operator untuk mengambil tindakan secara manual misalnya dengan memperkecil bukaan valve manual hot water guna membawa sistem kembali ke kondisi normal. sedangkan bila terjadi kelembaban yang terukur kurang dari 12% RH yang berarti udara yang dihembuskan terlalu kering, maka secara otomatis sistem proteksi akan men-shutdown sistem yang berarti menutup semua valve dan damper. waktu shutdown ini diperlukan untuk mengetahui dan memperbaiki kerusakan yang terjadi pada sistem agar tidak menimbulkan bahaya baik untuk produk, pegawai maupun lingkungan. di bawah ini dilakukan pengujian untuk beberapa inputan yang dapat menyebabkan *alarm* sistem atau bahkan *trip*:

Tabel 4.4 Range kelembaban untuk UTV

NO	Kelembaban (%RH)	Kondisi
1	20	20 mA (normal)
2	15	10 mA (alarm)
3	10	4 mA (Trip)

Sedangkan untuk proteksi temperatur model *state flownya* seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.30 Stateflow temperatur interlock sistem

Dalam gambar diatas merepresentasikan system UTV pada saat *normal operation* yaitu temperatur dibawah 55 Celcius, sehingga pada keadaan ini, sistem kontrol masih mampu mengejar set point yang ditetapkan oleh operator. Namun untuk inputan temperature dalam range $55 < T < 60$ akan menyebabkan sistem mengaktifkan alarm tanda bahaya, dan untuk tindak lanjutnya diperlukan campur tangan operator untuk mengambil tindakan secara manual misalnya dengan memperkecil bukaan valve manual hot water guna membawa sistem kembali ke kondisi normal. sedangkan bila terjadi kelembaban yang terukur lebih dari 60 Celcius yang berarti udara yang dihembuskan terlalu panas, maka secara otomatis sistem proteksi akan men-shutdown sistem yang berarti menutup semua valve dan damper. waktu shutdown ini diperlukan untuk mengetahui dan memperbaiki kerusakan yang terjadi pada sistem agar tidak menimbulkan

bahaya baik untuk produk, pegawai maupun lingkungan. di bawah ini dilakukan pengujian untuk beberapa inputan yang dapat menyebabkan *alarm* sistem atau bahkan *trip*:

Tabel 4.5 Range temperature untuk UTV

NO	Temperature (°C)	Kondisi
1	50	20 mA (normal)
2	57	10 mA (alarm)
3	63	4 mA (Trip)

4.8 Penentuan Nilai Safety Integrity Level (SIL)

Nilai SIL yang akan dihitung pada sub-bab ini adalah nilai SIL dari sistem proteksi yang ada pada UTV, meliputi komponen utama *transmitter*, *logic solver*, dan *final element* untuk menyokong sistem keamanan. Untuk menentukan SIL, harus pula memperhatikan gambaran sistem proteksi yang ada pada *Instruction Manual Book* dari *Unit Thermal Ventilation*.

Nilai *failure rate* yang merupakan komponen utama dalam perhitungan SIL diambil dari database OREDA handbook edisi 2002. Dalam hal ini digunakan nilai dari OREDA karena pengelolaan data *maintenance* di PT ECCO Tannery Indonesia kurang baik sehingga sebagian besar data pemeliharaan tidak *record*.

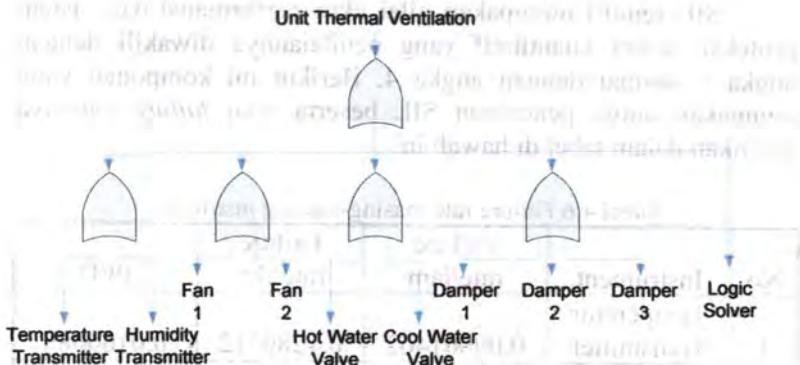
Untuk menghitung PFD masing-masing komponen digunakan nilai T_i (*test Interval*) sebesar 1/4. *Test frequency /interval* ini merupakan porsi interval kegiatan *maintenance* yang dilakukan pada komponen. Pedoman untuk penentuan *test Interval* ini adalah tahun. Jika dalam satu tahun dilakukan kegiatan *maintenance* satu kali, maka T_i memiliki nilai 1 tahun. Jika frekuensi pengelasan dilakukan selama 4 kali dalam satu tahun, maka interval pengelasannya rata-rata 3 bulan atau 1/4 tahun. Sehingga semakin sering *dimaintenance*, komponen memiliki *test interval* yang kecil yang berdampak pada nilai PFD yang kecil pula. Kemudian semakin kecil PFD, maka nilai faktor reduksi resiko dan SIL semakin besar.

SIL sendiri merupakan nilai ukur performansi dari sistem proteksi secara kuantitatif yang penilaiannya diwakili dengan angka 1 sampai dengan angka 4. Berikut ini komponen yang digunakan untuk penentuan SIL beserta nilai *failure rate*-nya disajikan dalam tabel di bawah ini

Tabel 4.6 Failure rate masing-masing instrumen

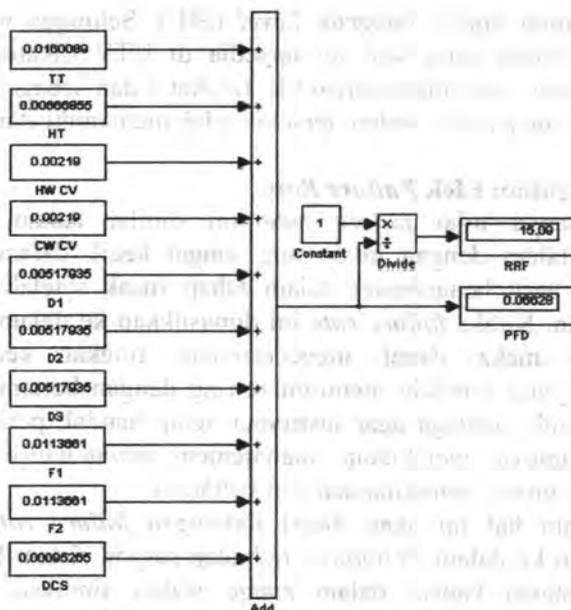
No	Instrument	Failure rate/jam	Failure rate/thn	PFD
1	Temperatur Transmitter	0,00001462	0,1280712	0,0160089
2	Humidity Transmitter	0,00000609	0,0533484	0,00666855
3	Control Valve	0,000002	0,01752	0,00219
4	Damper	0,00000473	0,0414348	0,00517935
5	Fan	0,00001038	0,0909288	0,0113661
6	Interlock	0,00000087	0,0076212	0,00095265

Penentuan SIL menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), dimana struktur secara umum FTA komponennya yang memiliki potensi terhadap penyumbangan/penimbulkan kerusakan adalah seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.31 Diagram FTA
untuk perhitungan Safety Integrity Level**

Berdasarkan nilai PFD masing-masing komponen yang terlibat dalam perhitungan SIL seperti terlihat pada tabel dan struktur FTA seperti diuraikan di atas, maka kemudian didapatkanlah nilai PFD total dari sistem proteksi. Agar lebih mudah dalam perhitungan, maka struktur FTA total dimasukkan ke *Simulink Matlab*. Adapun tampilan pada *Simulink* untuk keperluan ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.32 Pemodelan Simulink untuk perhitungan SIL

Dari perhitungan tersebut didapat bahwa nilai PFD_{avg} dari sistem proteksi pada UTV adalah sebesar $6,628 \times 10^{-2}$. Nilai ini memiliki arti bahwa dalam satu tahun UTV beroperasi, terjadinya kemungkinan sistem proteksi untuk gagal jika ada permintaan untuk membawa proses dalam kondisi aman ketika ada bahaya adalah sebesar $6,628 \times 10^{-2}$. Secara mudahnya bahwa dalam satu tahun, terjadinya kegagalan hanya $6,628 \times 10^{-2}$ kali, atau dalam 100 tahun (1 abad) terjadinya kegagalan hanya 6,628 kali dengan catatan komponen-komponen pendukung sistem proteksi selama kurun tersebut belum mengalami penggantian. Nilai PFD_{avg} sebesar $6,628 \times 10^{-2}$ memiliki ekivalensi dengan nilai faktor reduksi resiko (*Risk Reduction Factor/RRF*) sebesar 15.09. Nilai ini memiliki arti bahwa dalam satu tahun beroperasi, sistem proteksi memiliki kemampuan mengurangi resiko sebesar 15.09. Nilai PFD_{avg} dan RRF tersebut dapat dikonversi ke dalam

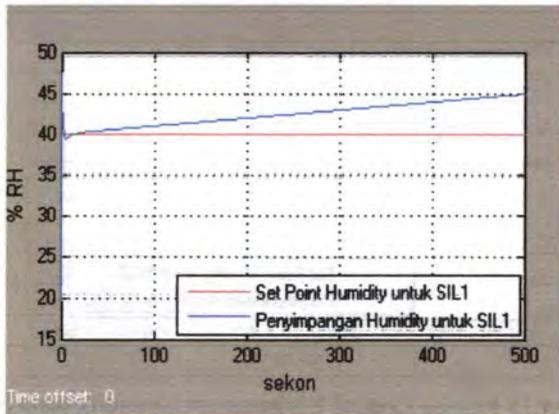
tingkatan nilai *Safety Integrity Level* (SIL). Sehingga menurut standard, sistem yang saat ini tersedia di UTV dikategorikan sebagai sistem yang mempunyai SIL tingkat 1 dan sebagai pabrik *manufacturing leather*, sistem tersebut telah memenuhi standard.

4.9 Pengujian Efek *Failure Rate*

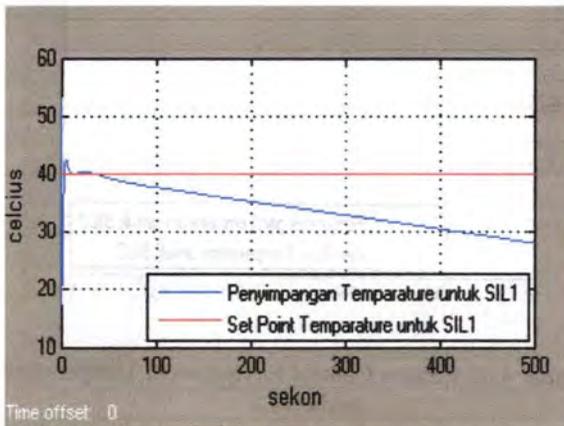
Biasanya nilai *failure rate* ini dinilai dalam satuan kerusakan/tahun dengan nilai yang sangat kecil, dalam artian instrumen baru benar-benar dalam tahap rusak setelah sekian puluh tahun. Ketika *failure rate* ini dimasukkan ke dalam fungsi *Reliability* maka dapat mencerminkan tingkat keandalan instrumen yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Untuk menjaga agar instrumen tetap handal, perusahaan pada umumnya melakukan manajemen *maintenance* untuk melakukan proses pemeliharaan dan *kalibrasi*.

Dalam hal ini akan dicari hubungan *failure rate* yang difungsikan ke dalam *Reliability* terhadap respon sistem kontrol, dengan catatan bahwa dalam *range* waktu simulasi, proses pemeliharaan dan kalibrasi tidak dilakukan sehingga keandalan dari instrumen semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu.

Kemudian untuk melihat pengaruh *reliability* terhadap kinerja sistem *control* yang telah dirancang, maka akan diujikan pula pada sistem yang telah dibuat dalam sistem pengendalian. Respon penanaman *failure rate* terhadap sistem pengendalian dapat dilihat pada grafik di bawah ini :

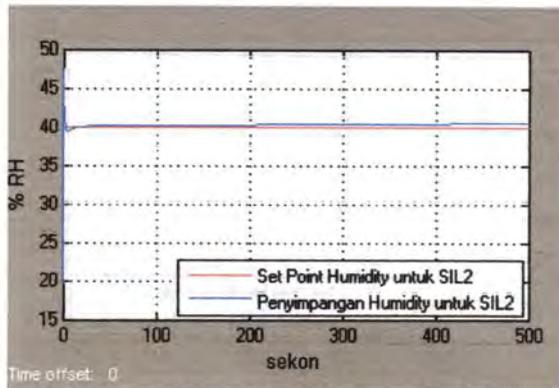


Gambar 4.33 Respon Control Environment Humidity pada SIL1

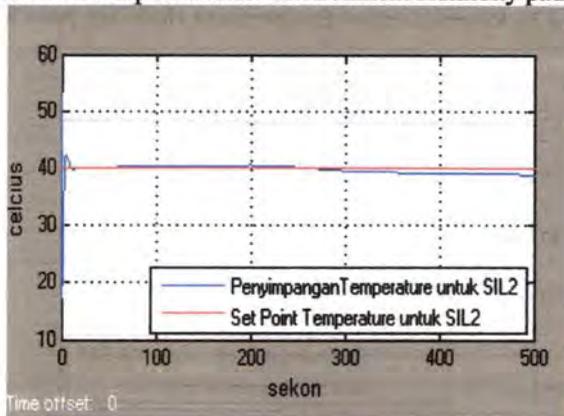


Gambar 4.34 Respon Control Environment Temperature pada SIL1

Selanjutnya, pada uji coba kali ini akan ditanamkan unsur fungsi *reliability* yang bertingkat, yaitu pada sistem dengan SIL tingkat 2. Dibawah ini adalah respon dari sistem yang telah diboboti failure rate pada SIL 2 :



Gambar 4.35 Respon Control Environment Humidity pada SIL2



Gambar 4.36 Respon Control Environment Temperature pada SIL2

Keandalan instrumen penyokong yang terdapat pada sistem kontrol yang kita rancang adalah berdasarkan fungsi waktu dan nilai failure rate. Kenyataan yang terjadi pada real plant adalah dengan bertambahnya waktu maka tingkat keandalan dalam mencapai sebuah setpoint akan semakin sulit. Dan dengan meningkatnya nilai failure rate yang semakin besar, menyebabkan pula keandalan yang semakin kecil dari masing-masing instrumen. Dengan program maintenance yang berkala, hal tersebut dapat direduksi menjadi lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian metodologi, pengujian, analisa serta pembahasan yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya :

- Berdasarkan simulasi hasil riil plan didapatkan :
 - Untuk control kelembaban :
 $K_p = 6.3$, $T_i = 5$ s
ts 47 s , Mp 10.2 % , Ess 0.0425 %.
 - Untuk control temperatur :
 $K_p = 0.8$
ts 27 s , Mp 11.25 % , Ess 4.2 %.

Sedangkan berdasarkan simulasi hasil rancangan didapatkan :

- Untuk control kelembaban :
 $K_p = 5$, $T_i = 3.5$ s , $T_d = 0.4$
ts 31 s , Mp 4.25 % , Ess 0.0375 %.
- Untuk control temperatur :
 $K_p = 2.4$, $T_i = 1.1$ s , $T_d = 0.2$
ts 24 s , Mp 7.5 % , Ess 0.03%.
- Dari simulasi hasil rancangan didapatkan bahwa sistem kontrol masih mampu menjaga dinamika proses pada kondisi *normal operation* ketika
 - Perubahan Set point berkisar dalam range $\pm 25\%$ dari 40 Celcius dan 40% RH
 - Perubahan load leather dapat diperbesar 50% hingga mencapai $\Delta Q = 6,45\%RH$ dan $\Delta T = 3,105$ Celcius
 - Perubahan Load External berkisar dalam range $52,687 < Q > 60,503 \%RH$ dan $32,118 < T > 34,722$ CNamun demikian sistem proteksi harus tetap terpasang untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya bahaya akibat perubahan yang terlalu ekstrem di luar batas-batas tersebut.

- Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode FTA maka didapat nilai PFD sebesar $6,628 \times 10^{-2}$ dan nilai RRF (*Risk Reduction Factor*) sebesar 15.09 sehingga termasuk dalam *range* SIL 1 dan sudah memenuhi standart untuk perusahaan *manufacturing Leather*.
- *Safety Instrumented System* yang telah ada pada PT.ECCO akan menimbulkan dampak instrumen cepat mengalami kerusakan yang berakibat pada menurunnya kemampuan instrumen untuk mengejar nilai *set point* yang diinginkan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

- Nilai PFD *UTV* dapat dinaikkan dengan cara meningkatkan Performansi SIS antara lain sering dilakukan *testing* (memperpendek *range test interval*)
- Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemodelan HVAC secara utuh (beserta *boiler* dan *chiller*), sehingga dapat diketahui pengaruh gangguan temperatur air terhadap sistem.
- Perlu dirancang suatu *system control* yang mampu menangani perubahan *load* udara external yang befluktuasi
- Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai proses perpindahan kalor dari udara ke kulit.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Bequette, Wayne B. *Process Control: Modelling, Design and Simulation*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 2003.
- Ebeling, Charles E, "*An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*", Mc Graw-Hill Companies Inc, New york
- Globe, William M, "*Control System Safety Evaluation and Reliability*", ISA-the Instrumentation, System, and Automation society
- Gunterus, Frans. *Falsafah Dasar Sistem Pengendalian Proses*, Elex Media Komputindo, Jakarta. 1994.
- Hittle, Nagabhushan. *Modeling Of Non-Linear HVAC system using SIMBAD*. Colorado State University. 2007.
- Incropera, Frank P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer: Fourth Edition*, John Willy & Sons, Inc, USA. 1996.
- Ogata, Katsuhiko, "*Teknik Kontrol Automatik Jilid I*", Erlangga, Jakarta, 1997.
- Oreda., "*Offshore Reliability data 4th Edition*", SINTEF Industrial Management Safety and Reliability, 2002
- Purwoko, Handin., "*Studi performansi sistem kontrol dan proteksi pada high pressure drum PT. Indonesia Power UBP Semarang untuk mengetahui kondisi kemanan proses melalui simulasi*", Jurusan Teknik Fisika ITS, 2008

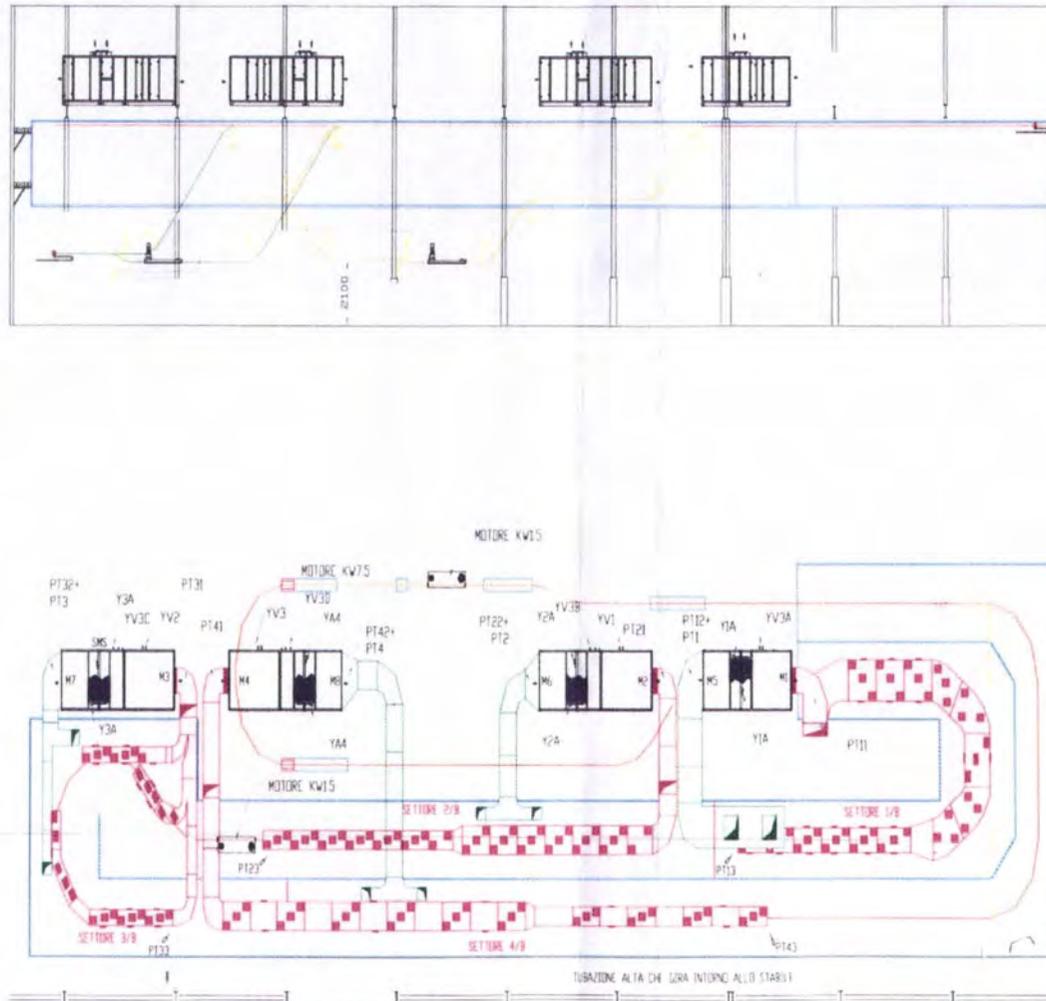
LAMPIRAN

LAMPIRAN A

SCHEMATIC SYSTEM THEMA DRY TUNNEL TH009

MANUALE DI ISTRUZIONI

7.2 PLANT OF THE SYSTEM WITH PRINCIPALS REFERENCES OF THE SYSTEM



- SETTORE N°1
- M1 MOTORE MANDATA ZONA 1 15 Kw
 - M5 MOTORE RIPRESA ZONA 1 11 Kw
 - P113 LASER INFRAROSSI ZONA 1
 - P112+P11 SONDA UMIDITA' RELATIVA + SONDA TEMPERATURA ZONA 1
 - P111 SONDA LIMITE ZONA 1
 - Y1A SERVOMOTORE PER SERRANDA N°1 INTERNO E 1 ESTERNO ZONA 1
 - YV3A VALVOLA ACQUA CALDA SETTORE 1
- SETTORE N°2
- M2 MOTORE MANDATA ZONA 2 75 Kw
 - M6 MOTORE RIPRESA ZONA 2 75 Kw
 - P123 LASER INFRAROSSI ZONA 2
 - P122+P12 SONDA UMIDITA' RELATIVA + SONDA TEMPERATURA ZONA 2
 - P121 SONDA LIMITE ZONA 2
 - Y2A SERVOMOTORE PER SERRANDA N°1 INTERNO E 1 ESTERNO ZONA 2
 - YV3B VALVOLA ACQUA CALDA SETTORE 2
 - YV1 VALVOLA DIVISORIO ACQUA FREDDA SETTORE 2
- SETTORE N°3
- M3 MOTORE MANDATA ZONA 3 75 Kw
 - M7 MOTORE RIPRESA ZONA 3 75 Kw
 - P133 LASER INFRAROSSI ZONA 3
 - P132+P13 SONDA UMIDITA' RELATIVA + SONDA TEMPERATURA ZONA 3
 - P131 SONDA LIMITE ZONA 3
 - Y3A SERVOMOTORE PER SERRANDA N°1 INTERNO E 1 ESTERNO ZONA 3
 - YV3C VALVOLA ACQUA CALDA SETTORE 3
 - YV2 VALVOLA DIVISORIO ACQUA FREDDA SETTORE 3
- SETTORE N°4
- M4 MOTORE MANDATA ZONA 4 75 Kw
 - M8 MOTORE RIPRESA ZONA 4 75 Kw
 - P143 LASER INFRAROSSI ZONA 4
 - P142+P14 SONDA UMIDITA' RELATIVA + SONDA TEMPERATURA ZONA 4
 - P141 SONDA LIMITE ZONA 4
 - Y4A SERVOMOTORE PER SERRANDA N°1 INTERNO E 1 ESTERNO ZONA 4
 - YV3D VALVOLA ACQUA CALDA SETTORE 4
 - YV3 VALVOLA DIVISORIO ACQUA FREDDA SETTORE 4
- (GRUPPI) TRAINI
- M9 MOTORE GRUPPI TRAINI N°1 DA Kw 13
 - M10 MOTORE GRUPPI TRAINI N°2 DA Kw 13

75



LAMPIRAN B
DATA KONSTANTA
UNIT THERMAL VENTILATION

$$C_{p, hw} = 4.194 \frac{KJ}{kgC}$$

$$m_{,w} = 16.11 \frac{kg}{s}$$

$$C_{p, cw} = 4.183 \frac{KJ}{kgC}$$

$$SPTe = 40 C$$

$$SPQe = 40\% RH$$

$$C_{p, a} = 1.007 \frac{KJ}{kgC}$$

$$Q_{lth} = 4.3\% RH$$

$$T_{,hw} = 82 C$$

$$T_{lth} = 2.07 C$$

$$T_{,cw} = 17 C$$

$$Q_{ex} = 56.9\% RH$$

$$W_s = 0.049141 \frac{kg, w}{kg, a}$$

$$T_{ex} = 33.5 C$$

$$U_o = 51 kW/m^2C$$

$$HFG = 2461.8 \frac{KJ}{kg, a}$$

$$A_{o, cw} = 3.12 m^2$$

$$SHR = 0.63$$

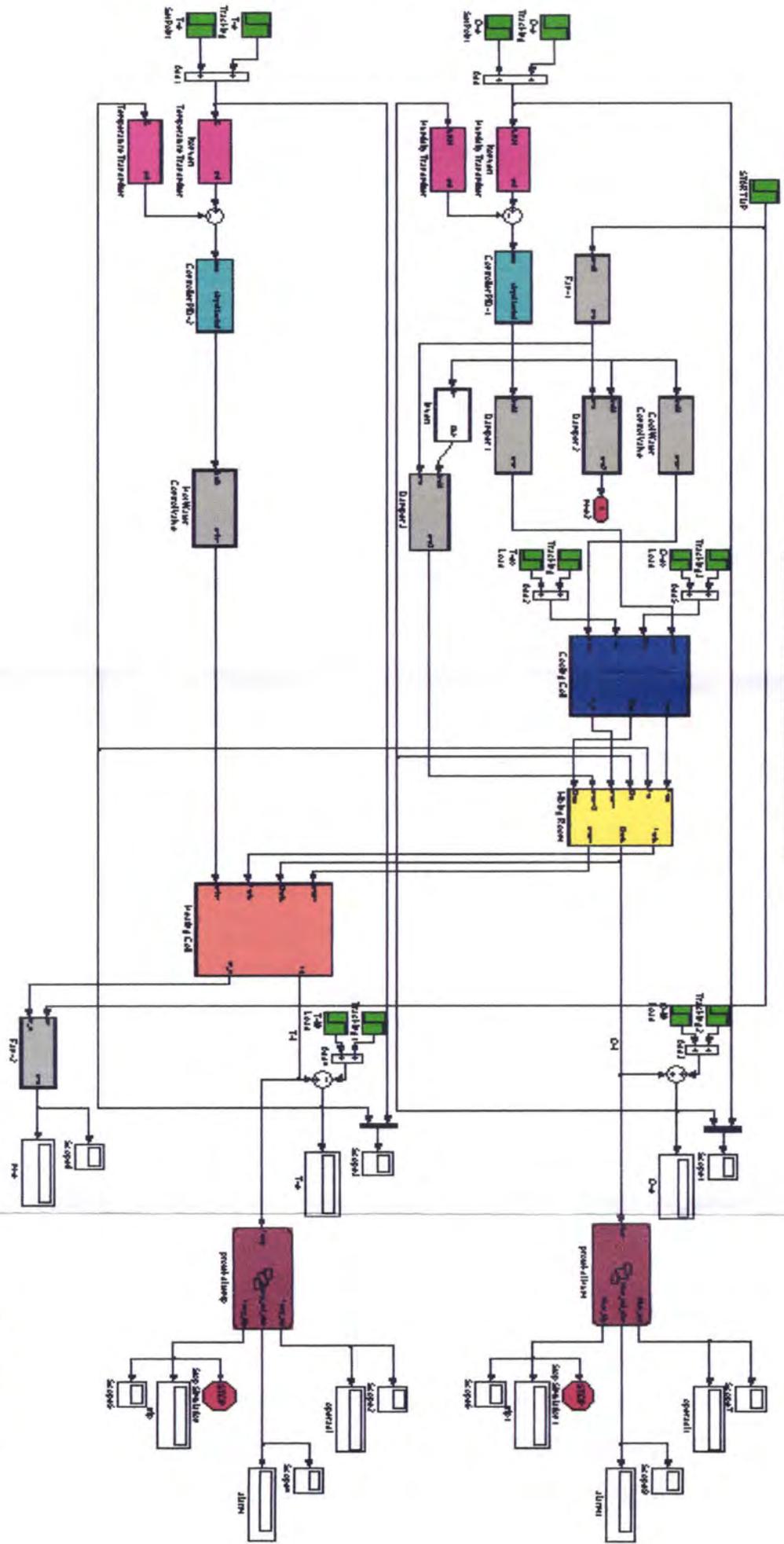
$$A_{o, hw} = 4.45 m^2$$

$$m_{,a} = 9.369 \frac{kg}{s}$$

LAMPIRAN C

INTEGRASI MODEL SIMULINK UNIT THERMAL VENTILATION

PROSES TERBUKA/UNTUK MENUNTUN THERMAL VENTILATION



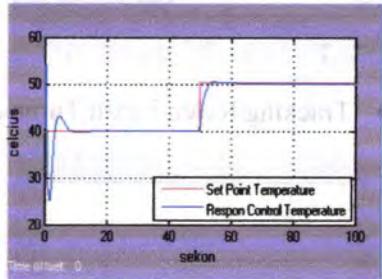
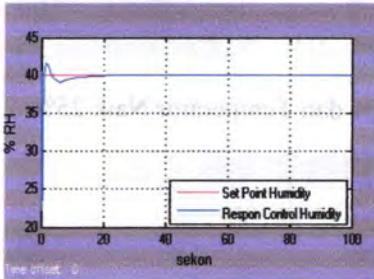
ER-001/2023/001/001

LAMPIRAN D

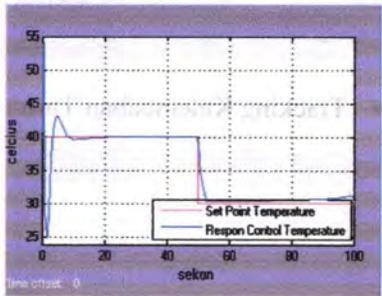
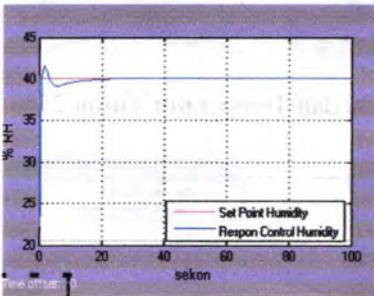
GRAFIK RESPON PENGUJIAN TRACKING SET POINT DAN LOAD

D.1 Uji Tracking Set Point

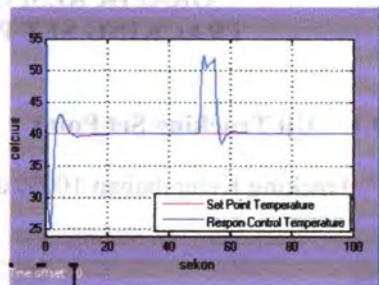
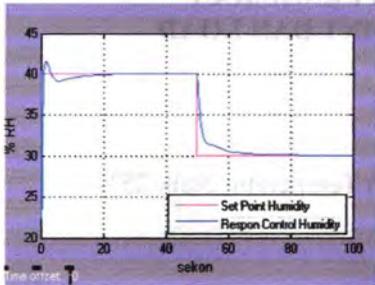
- Tracking Kelembaban 100% dan Temperatur Naik 25%



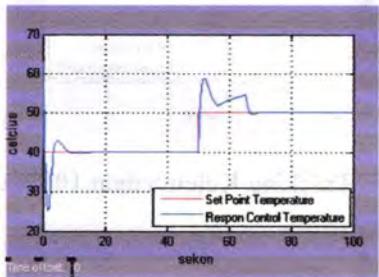
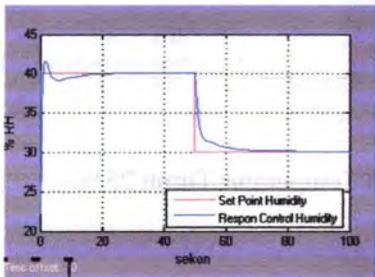
- Tracking Kelembaban 100% dan Temperatur Turun 25%



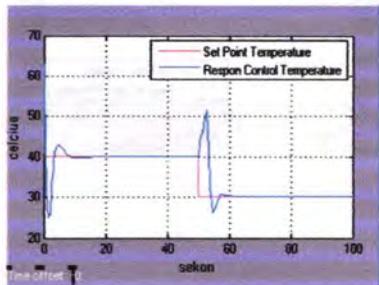
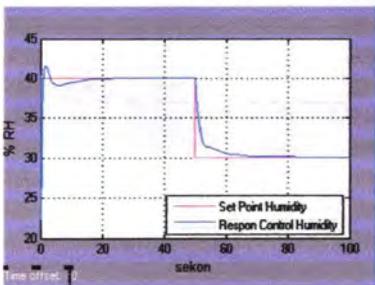
- Tracking Kelembaban Turun 25% dan Temperatur 100%



- Tracking Kelembaban Turun 25% dan Temperatur Naik 25%

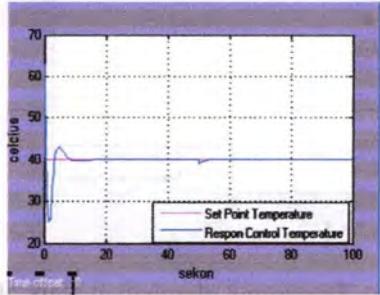
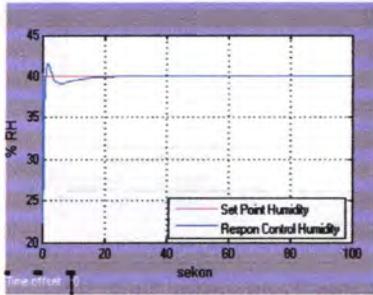


- Tracking Kelembaban Turun 25% dan Temperatur Turun 25%

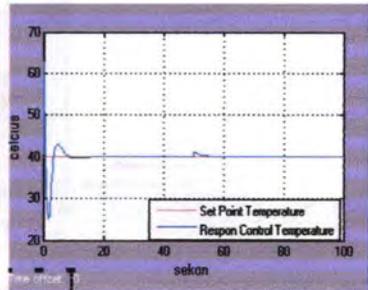
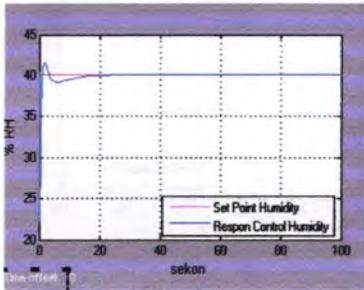


D.2 Uji Tracking Load Leather

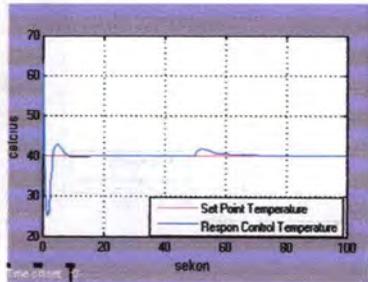
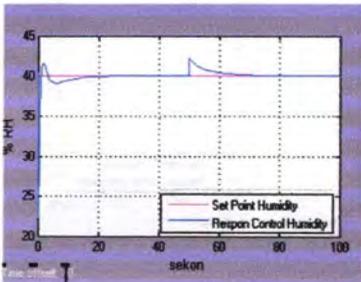
- Tracking Kelembaban 100% dan Temperatur Naik 50%



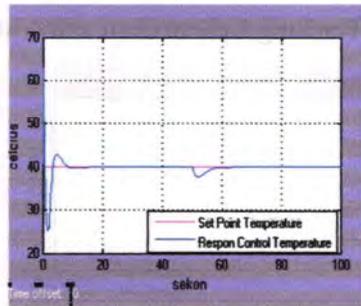
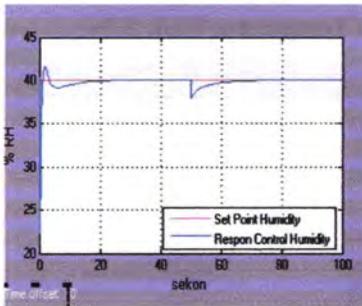
- Tracking Kelembaban 100% dan Temperatur Turun 50%



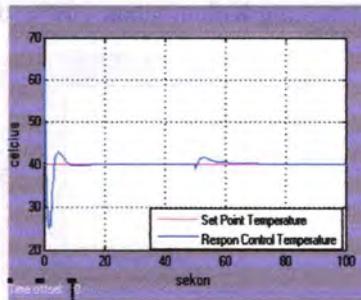
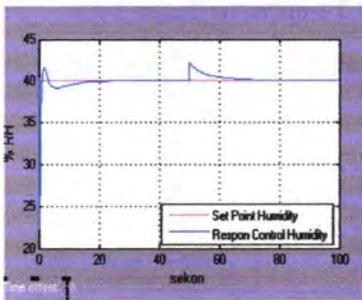
- Tracking Kelembaban Naik 50% dan Temperatur 100%



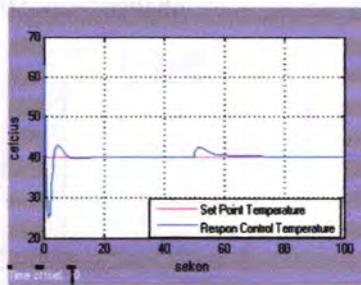
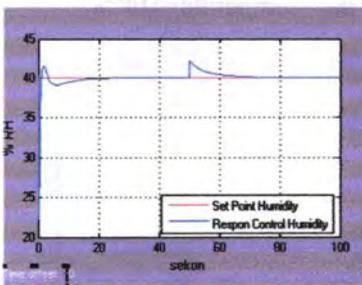
- Tracking Kelembaban Turun 50% dan Temperatur 100%



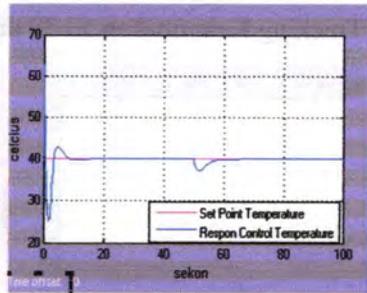
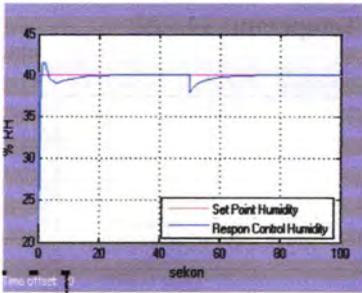
- Tracking Kelembaban Naik 50% dan Temperatur Naik 50%



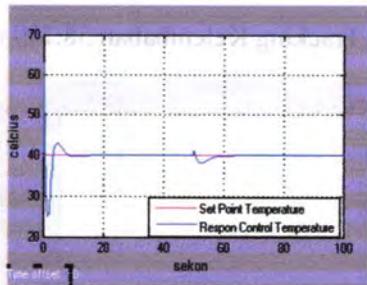
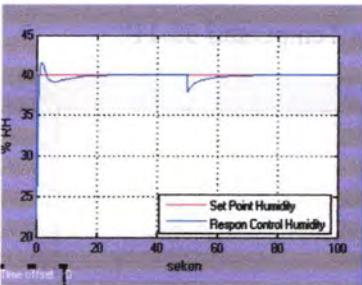
- Tracking Kelembaban Naik 50% dan Temperatur Turun 50%



- Tracking Kelembaban Turun 50% dan Temperatur Naik 50%

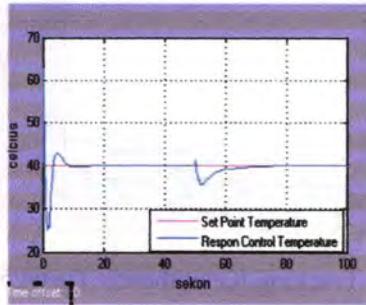
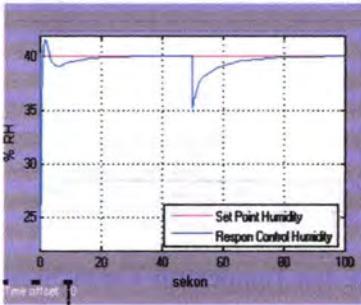


- Tracking Kelembaban Turun 50% dan Temperatur Turun 50%

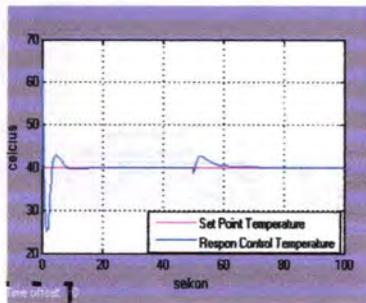
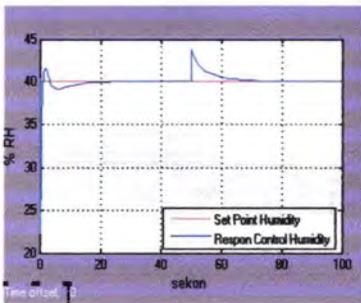


D.3 Uji Tracking Load External

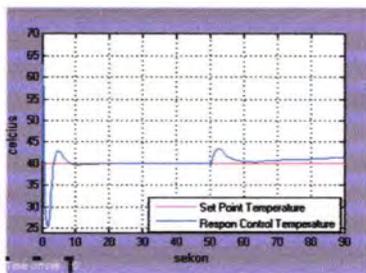
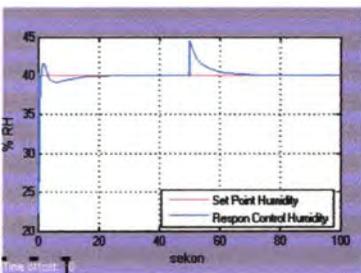
- Tracking Kelembaban 53.79 dan Temperatur 34.722



- Tracking Kelembaban 58.709 dan Temperatur 32.118



- Tracking Kelembaban 60.503 dan Temperatur 33.043



- Tracking Kelembaban 52.687 dan Temperatur 34.404

