

**PENGENDALIAN *LEVEL AIR* DAN *FEED WATER FLOW* PADA  
*STEAM DRUM* DI PT. IPMOMI – PAITON  
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM***

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Disusun oleh:*

**M WAHIDI SYARIFULLOH**

**0001060338 – 63**

DOSEN PEMBIMBING :

**Ir. Dipl-Ing. Moch. Rusli**  
NIP. 131 653 473

**Fitriana Suhartati, ST, MT**  
NIP : 132 206 527

**PENGENDALIAN *LEVEL AIR* DAN *FEED WATER FLOW* PADA  
*STEAM DRUM* DI PT. IPMOMI – PAITON  
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM***

*Disusun oleh:*

**M WAHIDI SYARIFULLOH**  
**0001060338 – 63**

*Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal*  
*3 agustus 2007*

DOSEN PENGUJI :

**Ir. Purwanto, MT**  
**NIP : 131 574 847**

**Goegoes Dwi Nusantoro, ST, MT**  
**NIP. 132 318 316**

**Ir. Erni Yudaningtyas, MT**  
**NIP. 131 879 035**

**Rusmi Ambarwati, ST, MT**  
**NIP. 132 258 188**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom**  
**NIP. 131 879 033**

## KATA PENGANTAR

Penulis menghaturkan puji dan ucapan syukur yang sebesar-besarnya ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat, cinta kasih dan karunia-Nya-lah maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir dengan judul "PENGENDALIAN *LEVEL AIR* DAN *FEED WATER FLOW* PADA *STEAM DRUM* DI PT. IPMOMI – PAITON DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM* ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan dalam menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Brawijaya Malang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini banyak memperoleh dorongan serta bantuan dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Ayah(alm), Ibu, kakak dan adik tersayang penulis yang merupakan rahmat dan karunia terbesar dari Allah SWT, yang selalu memberikan motivasi, dorongan, semangat dan kasih sayang demi keberhasilan penulis.
2. Bapak Dipl. Ing. Ir. M. Rusli dan Ibu Fitriana Suhartati. ST, MT selaku dosen pembimbing atas kesabarannya dan petunjuknya dalam memberikan bimbingan, ide, koreksi, pengarahan, saran, dan masukan selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Dipl. Ing. Ir. M. Rusli selaku KKDK Program Studi Teknik Kontrol yang telah memberikan bantuan dan ide dalam pengerjaan proposal tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. H. Heru Nurwarsito, M.Kom dan Bapak Rudy Yuwono, ST, MT selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan yang telah memberi fasilitas dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Wijaya Kurniawan ST, Domi, Roni, Anas, Nova, Heri, Tatang, Bibin berserta Semanggi crew dan pak lan atas arahan dan masukan yang sangat berguna.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas ilmu, bimbingan dan bantuannya selama penulis menjalani masa studi.

7. Nenek dan paman untuk untuk doanya dan selalu menjadi inspirasi bagi penulis.
8. Seluruh rekan, sahabat, kolega dan pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak sekali membantu penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

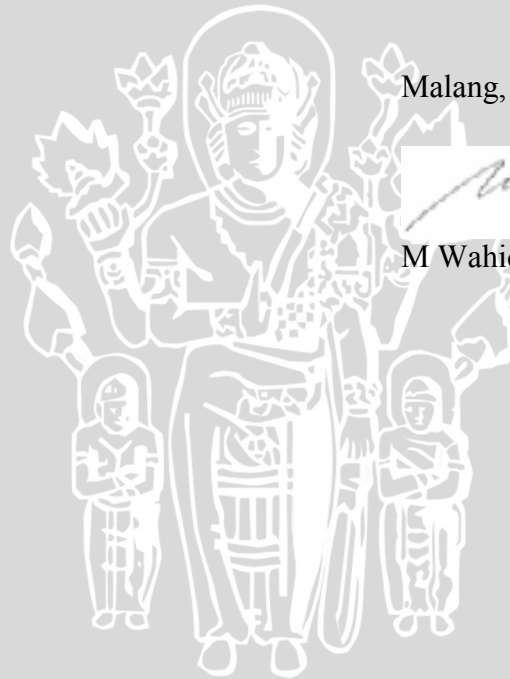
Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi suatu amal yang baik dan mendapat berkat dari Tuhan Yang Maha Pengasih.

Penulis menyadari bahwa pada tugas akhir ini masih terdapat banyak sekali kekurangan, oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca. Semoga tugas akhir ini dapat membawa manfaat yang baik bagi penulis sendiri maupun bagi pembaca dan semoga Tuhan senantiasa membimbing kita ke jalan yang penuh kebaikan dan kebenaran.

Malang, 11 Juni 2007



M Wahidi Syarifulloh



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penulisan .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II SISTEM KONTROL ADAPTIF, <i>MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM</i> DAN <i>STEAM DRUM</i></b>	<b>4</b>
2.1. Pengendalian Adaptif .....	4
2.2. <i>Model Reference Adaptive Systems (MRAS)</i> .....	6
2.3. <i>Steam Drum Boiler</i> .....	9
2.3.1 Metode pemisahan uap .....	9
<b>BAB III METODOLOGI</b>	<b>14</b>
3.1. Metodologi Penyusunan .....	14
3.2. Pengambilan Data .....	14
3.3. Penyusunan Model Matematis Plant dan persamaan fungsi alih .....	14
3.4. Perancangan hukum adaptasi .....	15
3.5. Perancangan kontroller MRAS .....	15
3.6. Simulasi sistem dengan program Matlab 7.0 .....	15
3.7. Analisa hasil dari simulasi sistem .....	15
3.8. Kesimpulan .....	15
<b>BAB IV. PEMODELAN SISTEM</b>	<b>16</b>
4.1. <i>Steam Drum Boiler</i> .....	16

4.1.1 Metode pemisahan uap .....	16
4.1.2. Karakteristik Fisik <i>Steam drum</i> .....	17
4.1.3. Proses Pemisahan Uap .....	18
4.1.4. Pengendalian <i>Level Air</i> dan <i>Feed Water Flow</i> Dalam Steam Drum ..	20
4.2. Model Matematis <i>Steam Drum</i> .....	21
4.3. Fungsi Alih <i>Control Valve</i> .....	24
4.4. Fungsi Alih <i>Level Transmitter</i> .....	26
4.5. Fungsi Alih <i>Flow Transmitter</i> .....	26
4.6 Konstanta Proporsional Untuk Kontrol <i>Flow</i> .....	27
4.7. Penentuan Model Referensi .....	28
4.8. Penetapan Parameter Pengendali .....	28
4.9. Persamaan <i>Error</i> .....	30
4.10. Penentuan Hukum Adaptasi .....	31
4.11. Skema Simulasi <i>Steam Drum</i> dengan <i>Model Reference Adaptive System</i> Pada Simulink Matlab 7.0 .....	33
<b>BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM</b> .....	<b>36</b>
5.1. Simulasi <i>Model Reference Adaptive System</i> Pada <i>Steam Drum Boiler</i> .....	36
5.2. Hasil Simulasi Model Referensi .....	36
5.3. Hasil Simulasi Sistem Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan .....	37
5.4. Hasil Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan .....	39
5.5. Hasil Simulasi Sistem Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dengan Gangguan step .....	41
5.6. Analisis Hasil Simulasi Sistem Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan .....	44
5.7. Analisis Hasil Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan .....	44
5.9. Analisis Hasil Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Dengan Gangguan .....	44
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>46</b>
6.1. Kesimpulan .....	46

6.2. Saran.....	46
-----------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>47</b>
-----------------------	-----------

<b>LAMPIRAN</b>	<b>48</b>
-----------------	-----------



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram blok <i>model reference adaptive systems</i> .....	6
Gambar 2.2. Struktur dasar pengendali adaptif .....	7
Gambar 2.3. Pembagian jenis <i>steam drum</i> .....	11
Gambar 2.4. <i>Steam Drum Boiler</i> .....	12
Gambar 2.5. <i>Piping Diagram</i> Pengendalian <i>Level</i> dan <i>Flow</i> pada <i>Steam Drum</i> .....	13
Gambar 4.1. <i>Steam Drum Boiler</i> .....	18
Gambar 4.2. <i>Piping Diagram</i> Pengendalian <i>Level</i> dan <i>Flow</i> pada <i>Steam Drum</i> .....	20
Gambar 4.3. Three Elements Control <i>Steam Drum</i> .....	21
Gambar 4.4. Model <i>Steam Drum</i> .....	22
Gambar 4.5. Blok Diagram Kontrol Kaskade <i>Level</i> dan <i>Flow</i> .....	24
Gambar 4.6 Diagram blok <i>control valve</i> .....	25
Gambar 4.7. Diagram blok <i>level transmitter</i> .....	26
Gambar 4.8 Diagram blok <i>Flow transmitter</i> .....	27
Gambar 4.9. Blok Diagram Loop <i>Slave</i> .....	27
Gambar 4.10. Grafik Root Locus .....	28
Gambar 4.11 Persamaan plant.....	28
Gambar 4.12 Struktur dasar pengendali adaptif.....	29
Gambar 4.13 Diagram blok generator sinyal 1 dan parameter $c_1$ pada $F_1$ .....	30
Gambar 4.14. Diagram blok generator sinyal 2 dan parameter $d_1$ pada $F_2$ .....	30
Gambar 4.15. Simulasi <i>Steam Drum</i> dengan MRAS pada Simulink .....	34
Gambar 4.16. Kontroler MRAS pada Simulink .....	35
Gambar 4.17. <i>Plant Steam Drum</i> pada Simulink .....	35
Gambar 5.1. Respon model referensi pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 .....	Meter 36
Gambar 5.2 Respon model referensi pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter pada awal simulasi.....	37
Gambar 5.3. Respon <i>plant</i> pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan.....	37
Gambar 5.4 Respon sinyal kontrol pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	38



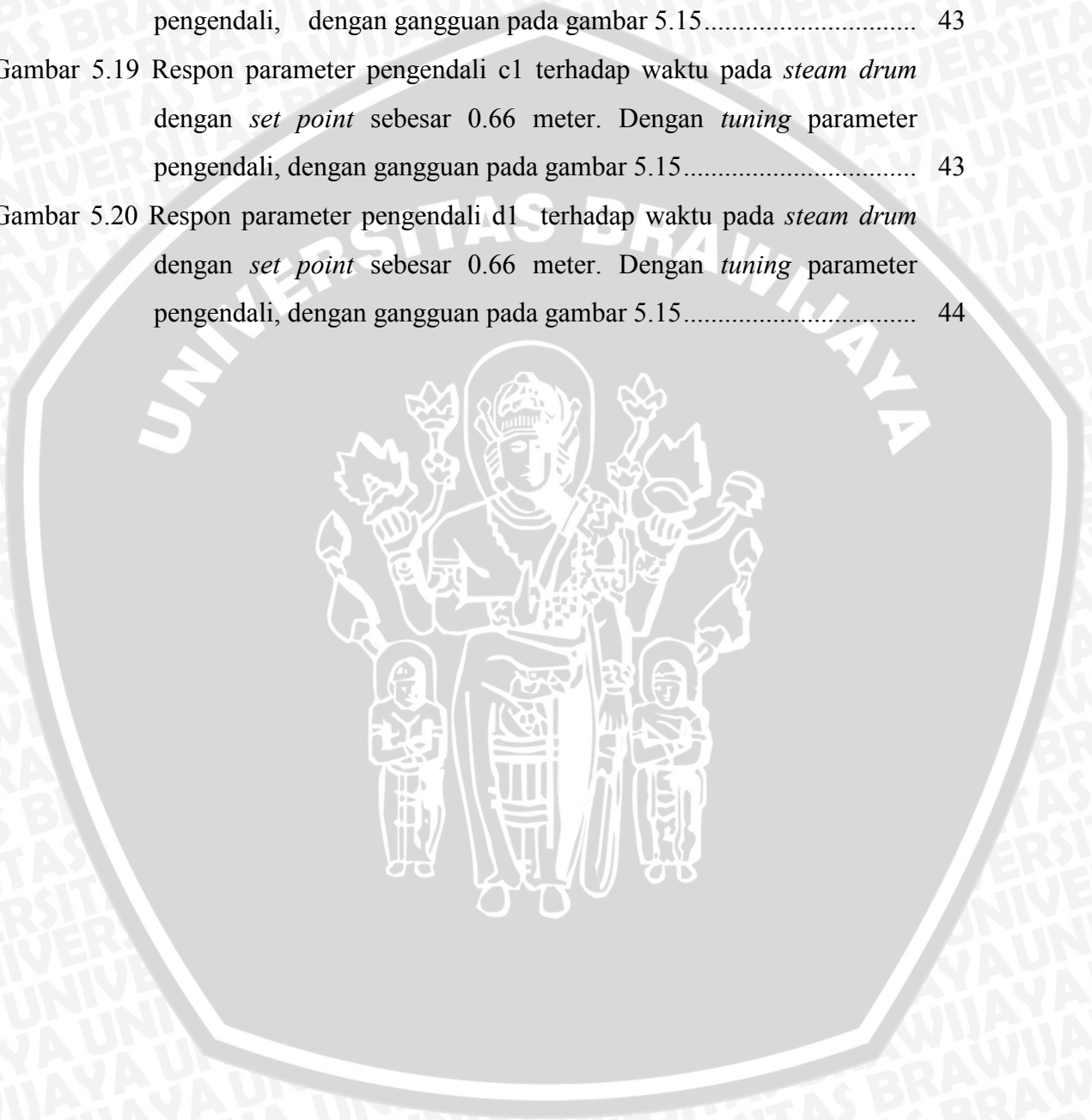
Gambar 5.5 Respon parameter pengendali $k_0$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	38
Gambar 5.6 Respon parameter pengendali $c_1$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	38
Gambar 5.7 Respon parameter pengendali $d_1$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Tanpa <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	39
Gambar 5.8 Respon <i>plant</i> pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan Dengan <i>settling time</i> 80detik .....	39
Gambar 5.9 Respon sinyal kontrol pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	40
Gambar 5.10 Respon parameter pengendali $k_0$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	40
Gambar 5.11 Respon parameter pengendali pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	40
Gambar 5.12 Respon parameter pengendali $d_1$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, tanpa gangguan .....	41
Gambar 5.13 Respon gangguan terhadap waktu( $t$ ) berupa kenaikan <i>level</i> pada detik ke 60 sebesar 0.1 m .....	41
Gambar 5.14 Respon <i>plant level</i> (m) terhadap waktu( $t$ ) dengan gangguan .....	42
Gambar 5.15 Respon gangguan berupa sinyal acak pada <i>level</i> dengan kisaran 0.1 m setiap 8 detik .....	42
Gambar 5.16 Respon <i>plant</i> (m) terhadap waktu $t$ pada <i>steam drum</i> dengan <i>set point</i> sebesar 0.66 meter. Dengan <i>tuning</i> parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15 .....	42

Gambar 5.17 Respon sinyal kontrol (mA) terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15..... 43

Gambar 5.18 Respon parameter pengendali  $k_0$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15..... 43

Gambar 5.19 Respon parameter pengendali  $c_1$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15..... 43

Gambar 5.20 Respon parameter pengendali  $d_1$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15..... 44



**DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1. Penguatan dan Konstanta..... 23



## ABSTRAK

M Wahidi Syarifulloh, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2007, Pengendalian *Level Air Dan Feed Water Flow* Pada *Steam Drum* Di PT. IPMOMI – Paiton Dengan *Model Reference Adaptive System (MRAS)*, Dosen Pembimbing : Dipl. Ing. Ir. M.Rusli dan Fitriana Suhartati, ST. MT.

*Steam drum* adalah sebuah instrument dalam sistem boiler yang merupakan kelanjutan dari proses aliran air (*feedwater flow*) setelah melalui *economizer* pada boiler di sebuah instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Fungsi *steam drum* adalah memisahkan uap air dan air pada uap basah sehingga keluaran *steam drum* menjadi uap kering serta mencegah terbawanya mineral-mineral ke *superheater* yang dapat menyebabkan timbulnya korosi pada pipa *superheater* yang berakibat pada kebuntuan. Peran *steam drum* cukup penting karena apabila *level* uap basah dalam *steam drum* kurang maka akan terjadi kegagalan sirkulasi air, dan apabila *level steam drum* melebihi *range* tertentu akan terjadi kegagalan pemisahan uap air dan air.

Pengendali adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems*, bertujuan meminimalkan pengaruh gangguan dengan pola yang berubah-ubah. Pada prinsipnya perancangan MRAS dimulai dengan menentukan fungsi alih dari *plant*, kemudian menyusun model referensi, meminimalkan *error* dengan hukum adaptasi, dan melakukan tuning parameter pengendali.

Pengendalian level pada *steam drum* dirancang menggunakan konfigurasi kaskade dengan dua *loop*. *Loop slave* adalah pengendalian *feed water flow* menggunakan kontrol proporsional dan pengendalian *level* sebagai *loop master* adalah kontrol dengan *Model Reference adaptive system*. Metode ini dapat mempertahankan keluaran pada kondisi setimbang yaitu pada *level* operasinya yaitu 0,66 m serta mengatasi perubahan beban acak berupa perubahan *level steam drum* akibat perubahan penggunaan uap kering yang dihasilkan *steam drum*. Diperoleh *settling time* sebesar 80 detik, *rise time* sebesar 40 detik, dan *level* dari *steam drum* tetap berada dalam *range* operasinya yaitu 0,61- 0,71m.

Kata kunci : *Model Reference Adaptive Systems (MRAS)*, *steam drum*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan sumber energi yang keberadaannya sangat diperlukan masyarakat karena merupakan sumber energi untuk menjalankan roda kehidupan. Oleh karena itu industri penghasil listrik dituntut selalu menjaga keeksistensian dan kelajuan produksinya untuk memenuhi tuntutan pasar. Seperti pada umumnya, suatu proses produksi tidak lepas dari permasalahan. Termasuk pada sektor pengendalian instrument, baik untuk menjaga kestabilan alat, mengoptimalkan sistem maupun menjaga sistem tetap stabil saat terjadi gangguan atau adaptasi sistem.

PT. International Power Mitsui Operation and Maintenance Indonesia (IPMOMI) – Paiton merupakan salah satu industri pembangkit listrik di Indonesia yang memanfaatkan uap sebagai tenaga penggerak utama turbinnya. Proses produksi listrik tenaga uap melibatkan banyak sekali instrumen-instrumen yang saling berintegrasi. Salah satu instrumen dalam sistem ini adalah *Steam Drum*. *Steam Drum* merupakan bagian dari sistem Boiler dan memiliki letak yang terpisah dan fungsi yang berbeda pula dengan boiler.

Fungsi utama dari *Steam Drum* adalah untuk memisahkan uap dari air. Fase uap akan dialurkan ke *superheater* sedangkan fasa air turun ke penampung air dan dipompa untuk dipanaskan kembali yang disebut *Boiler Circulating Water Pump* (BCWP). Perubahan beban yang besar dan terjadi secara tiba-tiba akan berpengaruh terhadap kinerja turbin yang juga akan sangat berpengaruh terhadap *level* air dalam *Steam Drum* yang memiliki range ketinggian  $\pm 9$  inch dari *set point level*. Apabila terjadi perubahan beban yang mengakibatkan *level* menyentuh batas minimum atau maksimum maka proses produksi harus dihentikan, dan untuk melakukan starting ulang diperlukan dana yang besar.

Sistem kontrol pada *Steam Drum* ini termasuk sistem yang *multivariable loops*, yaitu memiliki dua masukan berupa nilai *set point level* dan *set point feed water flow*. Sedangkan keluaran dari sistem adalah *level Steam Drum* atau terjaganya ketinggian air. *Feed water flow* perlu dijaga dalam nilai tertentu sebab sering terjadi perubahan beban yang berakibat fluktuasinya *level* dan berakibat pula laju aliran air yang tidak konstan.

Sehingga agar jumlah air yang masuk sama dengan air yang keluar dari *Steam Drum* maka laju aliran air tersebut perlu dikontrol.

Final control element atau aktuator dari sistem pengendalian *level* ini adalah valve pompa yang terdiri dari 2 jenis, yaitu Turbin Driven sebanyak 2 buah dan Motor Driven sebanyak 1 buah. Masing-masing pompa berkapasitas 50 %. Motor driven pump hanya digunakan pada saat starting awal, namun pada saat normal load atau saat steam sudah terbentuk maka yang digunakan adalah Turbin Driven. Hal ini karena efisiensi yang lebih besar, sebab untuk menggerakkan Turbin Driven digunakan steam yang berasal dari superheater juga. Selama ini sistem kontrol *level* dan *feed water flow* tersebut dikendalikan oleh dua buah kontroler PID, yang memiliki fungsi berbeda. Namun untuk memperbaiki kinerja pengendali PID maka dalam skripsi ini penulis mengganti kontroler dengan *Model Reference Adaptive System* (MRAS), sebab *Model Reference Adaptive System* (MRAS) dapat digunakan untuk *multivariable loops* dan supaya bisa mengatasi perubahan parameter plan .

## 1.2 Batasan Masalah

Pada penyusunan skripsi ini, dilakukan pembatasan-pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Parameter-parameter yang dikendalikan adalah *level* dan *feed water flow* pada steam drum.
2. Parameter sistem yang digunakan berdasarkan dari data yang diambil pada awal Februari 2006 di PT. IPMOMI – Paiton.
3. Pembahasan hanya mengenai penerapan *Model Reference Adaptive System* (MRAS) pada steam drum.
4. Analisis dan simulasi sistem menggunakan software Matlab versi 7.0
5. Proses pengaturan dibatasi mulai pengaturan aliran *feed water flow* sampai pada pengaturan *level steam drum*.

## 1.3 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang kontroller MRAS pada steam drum untuk mengendalikan *level* dan *feed water flow*.

2. Bagaimana performansi sistem pada *steam drum* setelah diberi kontroller MRAS.

#### 1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan alternatif lain dengan metode MRAS, agar diperoleh respon sinyal pengendali yang diinginkan. Dengan sinyal pengendali yang optimal dapat meminimumkan perubahan *level* dan *flow* yang terjadi sehingga aliran uap (*steam flow*) menjadi stabil.

#### 1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan yang dipakai pada pembuatan tugas akhir ini adalah:

##### Bab I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan.

##### Bab II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai dasar-dasar teori sistem kontrol *Adaptif*, diantaranya adalah MRAS, *Gain Scheduling* dan *Self Tuning Controller* konsep sistem kontrol *Adaptif*, dan hukum adaptasi .

##### Bab III METODOLOGI

Bab ini berisi penjelasan mengenai metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini.

##### Bab IV PEMODELAN SISTEM

Membahas mengenai penurunan rumus untuk parameter-parameter *Steam Drum* hingga penyajian dalam bentuk fungsi alih.

##### Bab V PENGENDALIAN DAN SIMULASI SISTEM

Bab ini berisi perancangan sistem kontrol dengan *Model Reference Adaptive System* (MRAS) dan penerapannya pada plant, serta simulasi sistem.

##### Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari keseluruhan penyusunan tugas akhir ini.

## BAB II

### SISTEM KONTROL ADAPTIF, *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM* DAN *STEAM DRUM*

#### 2.1 Sistem Kontrol Adaptif

Pengendali adaptif dapat diartikan sebagai pengendali yang dapat memodifikasi perilakunya dalam merespon perubahan dari dinamika proses dan kerakter dari gangguan (Astrom and Wittenmark, 1989 : 1).

Pendekatan yang digunakan dalam pengendalian adaptif dibagi menjadi tiga, yaitu (Sastry and Bodson, 1993):

1. *Gain Scheduling* ( penjadwalan penguatan )
2. *Self Tuning Controller* ( pengaturan *self-tuning* )
3. *Model References Adaptive Systems* ( sistem adaptif model referensi )

Pengendalidengan metode *Gain Scheduling* merupakan kendali yang paling banyak digunakan di dalam industri pengolahan dan manufaktur. Kendali ini bekerja dengan mengadaptasi gain kendali sesuai dengan perubahan kondisi operasi suatu proses di industri. Pengendalian adaptif metode *Gain Scheduling* memerlukan pengetahuan yang mendalam tentang *plant* yang akan dikendalikan (Sastry and Bodson, 1993) karena parameter pengendali ditentukan langsung pada saat perancangan. Setiap keluaran *plant* mempunyai pasangan parameter pengendali tertentu yang telah ditetapkan nilainya oleh perancang. Pengendalian metode ini digunakan apabila keluaran *plant* dan variasi gangguannya dapat diprediksi.

Proses adaptasi dalam pengendalian adaptif metode *Self Tuning Controller* merupakan proses adaptasi tak langsung (Sastry and Bodson, 1993). Pada proses ini parameter *plant* ditentukan terlebih dahulu, kemudian parameter tersebut digunakan untuk mengubah parameter pengendali.

Proses adaptasi dalam pengendalian adaptif metode *Model References Adaptive Systems* adalah proses adaptasi langsung tanpa terlebih dahulu melakukan estimasi parameter *plant*. Jadi proses adaptasi pada pengendalian metode *Self Tuning Controller* lebih kompleks untuk dilakukan daripada pengendalian adaptif metode *Model References Adaptive Systems* karena harus terlebih dahulu melakukan estimasi



parameter *plant*. Maka dalam penulisan skripsi ini digunakan pengendalian adaptif dengan *Model References Adaptive Systems*.

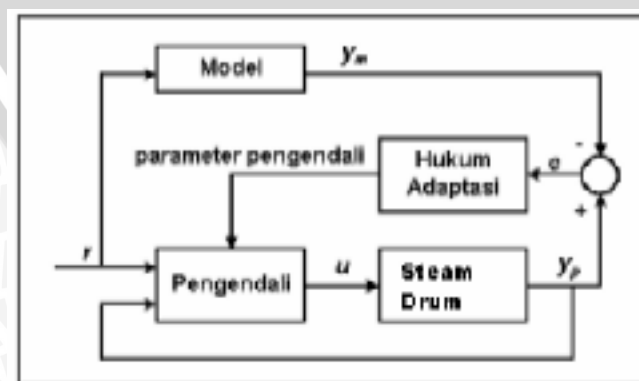
## 2.2 Model Reference Adaptive System (MRAS)

Dalam *Model References Adaptive Systems* (MRAS), keluaran dari sistem ditentukan melalui keluaran model referensi, dan nilai parameter pengendali disesuaikan besarnya dengan kesalahan (*error*) yang terjadi antara keluaran model referensi dengan keluaran sistem yang dikendalikan.

Prinsip pengendalian dengan menggunakan MRAS adalah dengan membuat keluaran sistem yang dikendalikan sedemikian rupa sehingga bertingkah laku sama dengan tingkah laku referensi yang diberikan. Diagram blok MRAS diberikan pada Gambar 2.1.

Sistem pengendalian adaptif memiliki dua *loop* umpan balik, yaitu Loop dalam dan loop luar. Loop dalam terdiri atas *plant* dan pengendali, sedangkan loop luar digunakan untuk menyesuaikan harga parameter yang digunakan pada loop dalam. Setelah nilai parameter pengendali sudah sesuai dengan yang diinginkan, maka loop dalam akan bekerja seperti pada sistem pengendalian biasa.

Dalam pengendalian ini, keluaran model referensi digunakan untuk menentukan keluaran sistem agar sesuai dengan yang diinginkan. Model referensi menghasilkan sinyal keluaran  $y_m$ , selanjutnya sinyal keluaran referensi ini dibandingkan dengan sinyal keluaran *plant*  $y_p$ . Bila terdapat adanya *error*  $e$  diantara  $y_m$  dengan  $y_p$ , maka parameter yang ada pada pengendali akan berubah melalui hukum adaptasi. Melalui hukum ini, pengendali akan menghasilkan sinyal kendali  $u$  yang selanjutnya menjadi masukan bagi *plant* sehingga keluaran  $y_p$  akan sesuai dengan keluaran model referensi.



**Gambar 2.1** . Diagram Blok *Model Reference Adaptive System*

**Sumber** : Astrom and Wittenmark, 1989 : 185

### a. Plant

*Plant* merupakan bagian dari sistem yang akan dikendalikan. *Plant* dinyatakan dalam fungsi alih. Fungsi alih didefinisikan sebagai perbandingan antara transformasi Laplace fungsi tanggapan (keluaran) terhadap transformasi fungsi penentu (masukan) dengan semua keadaan awal sama dengan nol (Ogata, 1997 : 45).

Fungsi alih *plant*  $W_p(t)$  dengan keluaran  $Y_p(t)$  terhadap sinyal kendali  $u(t)$  dapat dinyatakan dengan Persamaan (2-1), (Saubhayana, 1999 : 1) :

$$W_p(t) = \frac{Y_p(t)}{u(t)} \quad (2-1)$$

### b. Model Referensi

Model Referensi  $W_m(t)$  menyatakan fungsi alih keluaran  $Y_m(t)$  terhadap sinyal masukan  $r(t)$ . Fungsi alih  $W_m(t)$  dinyatakan sebagai berikut (Saubhayana, 1999 : 2) :

$$W_m(t) = \frac{Y_m(t)}{r(t)} \quad (2-2)$$

Dalam menentukan model referensi, derajat relatif model referensi lebih besar atau sama dengan derajat relatif dari *plant* (Narendra and Annaswamy, 1989 : 183). Derajat relatif adalah selisih antara orde *pole* dan *zero* (Butler, 1992: 54).

### c. Pengendali Adaptif

Struktur pengendali adaptif terdiri dari penguat  $k_o$ ,  $F_1$  dan  $F_2$ .  $F_1$  terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter  $c_i$ , dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ .  $F_2$  terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter  $d_j$ , dengan  $j = 1, 2, \dots, n$ . Generator sinyal yang ada pada  $F_1$  dan  $F_2$  masing-masing menghasilkan parameter sinyal  $\omega^{(1)}$  dan  $\omega^{(2)}$ .

Sinyal kendali  $u(t)$  terdiri atas sinyal masukan  $r$  dan sinyal  $\omega^{(1)}$  dan  $\omega^{(2)}$ , sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$u(t) = (r, \omega^{(1)}, \omega^{(2)}) \quad (2-3)$$

Parameter-parameter yang terdapat dalam pengendali didefinisikan sebagai parameter pengendali yang dituliskan sebagai berikut :

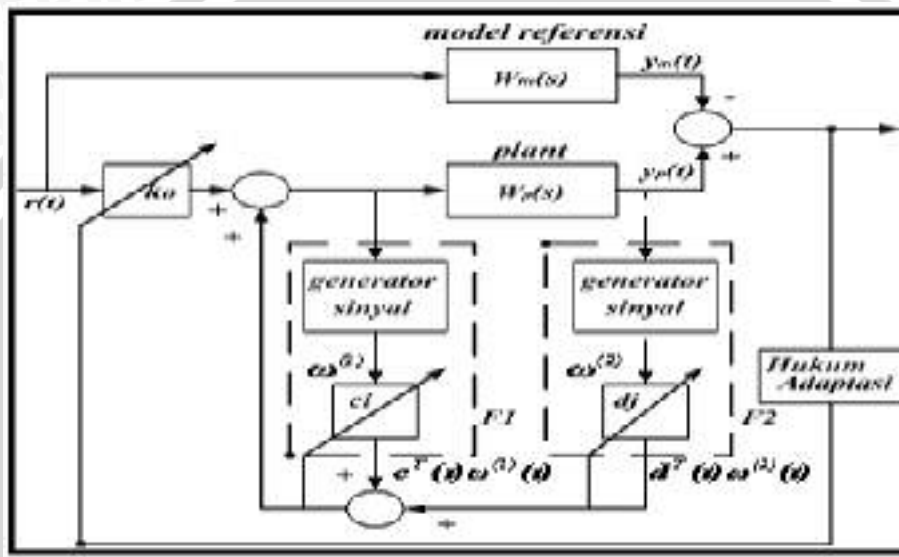
$$\theta = [k_o(t), c_1(t), \dots, c_n(t), d_1(t), \dots, d_n(t)] \quad (2-4)$$

Sinyal kendali  $u$  yang dihasilkan oleh pengendali adalah :

$$u(t) = \theta(t) \cdot \omega(t)$$

$$u(t) = k_o(t) r(t) + c(t) \omega^{(1)}(t) + d(t) \omega^{(2)}(t) \quad (2-5)$$

Sinyal kendali  $u(t)$  ini digunakan sebagai masukan bagi *plant*.



**Gambar 2.2** Struktur dasar pengendali adaptif  
**Sumber :** Butler, 1992: 53

$F_1$  dan  $F_2$  masing-masing terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter pengendali yang dinyatakan dengan fungsi alih  $W_1$  dan  $W_2$ , yaitu :

$$W_1 = \frac{C(s)}{N(s)}$$

$$W_2 = \frac{D(s)}{N(s)}$$

(2-6)

Polinomial  $N(s)$  pada generator sinyal bantu adalah *zero* dari model referensi (Sastry and Bodson, 1993 :105).  $N(s)$  adalah polinomial dengan orde  $m$  atau  $n-1$ ,  $C(s)$  dan  $D(s)$  adalah polinomial dengan orde  $n-2$ . Sinyal kendali  $u(t)$  yang dihasilkan

pengendali digunakan sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran *plant* dapat menyesuaikan dengan keluaran model referensi.

#### d. Persamaan Error

Pada pengendalian dengan MRAS, proses adaptasi akan berhenti apabila keluaran *plant* sama dengan keluaran model referensi. Dengan kata lain *error* sama dengan 0. Sedangkan persamaan *error* antara model referensi dengan *plant* adalah (Mariani, 2005 : 37) :

$$e_1(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (2.7)$$

Parameter pengendali  $\theta$  dalam MRAS adalah (Butler, 1997 :54) :

$$\theta(t) = \theta^* + \phi(t) \quad (2-8)$$

dengan  $\theta^*$  adalah parameter pengendali pada saat fungsi alih *plant* dan pengendalinya sesuai dengan fungsi alih model referensi.  $\phi(t)$  adalah parameter *error*.  $\theta$  adalah parameter pengendali yang akan disesuaikan menjadi  $\theta^*$ .  $\theta$  dapat dinyatakan sebagai :

$$\theta = [k_o(t), c_n(t), d_n(t)] \quad (2-9)$$

Proses adaptasi berlangsung dengan mengubah  $\theta(t)$  menjadi  $\theta^*$ . Perubahan ini dilakukan agar keluaran *plant* bergerak menuju ke keluaran yang diinginkan sesuai dengan keluaran model referensi.

#### e. Hukum Adaptasi

Proses adaptasi terjadi melalui adanya perubahan nilai pada parameter pengendali. Proses ini berlangsung selama terjadi *error* antara keluaran *plant*  $y_p(t)$  dan keluaran model referensi  $y_m(t)$ . Proses adaptasi dilakukan berdasarkan hukum adaptasi (Narendra and Annaswamy, 1989 : 195).

Dalam hukum adaptasi parameter pengendali diubah sedemikian hingga *error* antara  $y_p(t)$  dengan  $y_m(t)$  sama dengan 0. Penyesuaian parameter pengendali

menghasilkan sinyal kendali  $u(t)$  sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran  $y_p(t)$  akan mendekati  $y_m(t)$  pada saat  $t$  menuju tak hingga. Hal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (2-10)$$

Pada MRAS, *error* antara  $y_p$  dengan  $y_m$  digunakan secara langsung untuk mengubah nilai parameter pengendali. Proses adaptasi pada MRAS ini disebut dengan adaptasi langsung. (Sasthy and Bodson, 1993 : 110).

### 2.3 Steam Drum Boiler

*Steam Drum* merupakan sebuah instrument di dalam sistem boiler yang merupakan kelanjutan dari proses aliran air (*feedwater flow*) setelah economizer. Fungsi primernya adalah memisahkan uap dari campuran air pada uap basah sehingga keluaran *Steam Drum* menjadi uap kering. Fungsi sekundernya adalah memisahkan kotoran dari air dan mengeringkan uap setelah dipisahkan dari air.

#### 2.3.1 Metode pemisahan uap

Metode pemisahan uap yang paling umum digunakan pada industri biasanya di bedakan menjadi tiga yaitu :

##### a. Gravity Separation

Metode paling sederhana dalam proses pemisahan uap dari air adalah *gravity separation*. Apabila kecepatan aliran uap yang meninggalkan permukaan air cukup rendah (dibawah 3 ft/s) maka gelembung-gelembung uap akan terpisah secara alami tanpa menyertakan tetesan air. Faktor-faktor lain selain kecepatan yang dapat mempengaruhi proses adalah posisi dari *nozzle downcomer* dan *riser* yang dipengaruhi oleh keluaran uap, biasanya di puncak drum dan berfungsi untuk mengatur tekanan uap. *Gravity separation* diakibatkan oleh perbedaan berat jenis uap dan air.

##### b. Mechanical Separation

Pada *boiler-boiler* modern yang berkapasitas dan bertekanan tinggi, tipe *mechanical separation* membagi *gravity separation* dalam dua tahap yaitu primer dan sekunder. Pemisahan primer (*primary separation*) memisahkan sebagian besar air dari

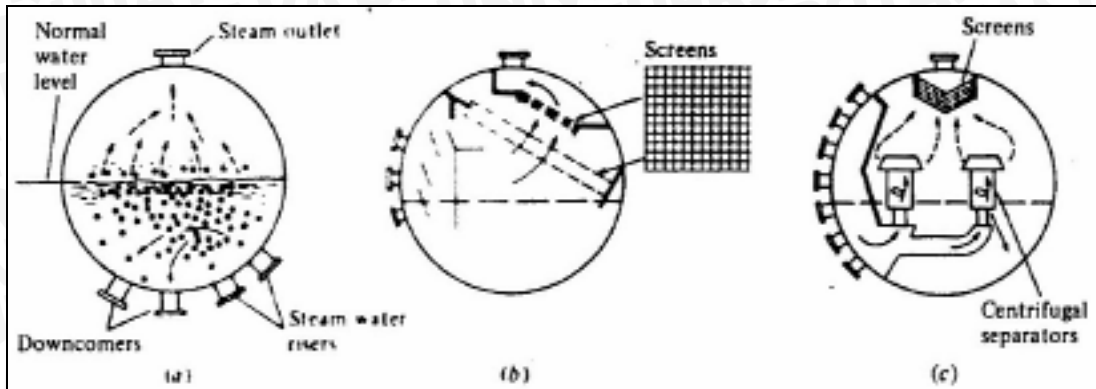
uap dan mencegah uap ikut bersama air ke *downcomers*. Pemisahan sekunder (*secondary separation*), yang juga disebut pengeringan uap (*steam drying*) berfungsi memisahkan titik-titik air sisa dan bahan padat dari uap, hasilnya adalah uap murni atau uap kering yang kemudian mengalir ke *superheater*. *Mechanical separation* dilengkapi dengan lapisan tirai (*baffles*), lapisan penyaring (*screen*), dan lapisan berombak (*waving*).

Lapisan *baffle* berfungsi sebagai pemisah primer. Piranti ini merubah arah aliran uap, yang memberikan pemisahan berdasar gaya berat (*gravity separation*), dan beraksi dengan menepukkan lempeng-lempeng yang menyebabkan air turun. Lapisan penyaring (*screen*) terbuat dari jala-jala kawat yang berfungsi sebagai pemisah sekunder. Masing-masing kawatnya berfungsi untuk menangkap titik-titik air yang masih terbawa oleh uap, seperti *filter* yang menangkap debu dari gas. Semua air yang jatuh kembali ke penampung air utama (*primary reservoir*) terjadi karena adanya gravitasi. Lapisan berombak berguna untuk pemisahan primer maupun sekunder. Keefektifannya diperoleh dari permukaannya yang lebih luas dari area pemisahan. Sedangkan tipe yang dipakai di PLTU Paiton 7 & 8 adalah tipe yang ketiga yaitu *Centrifugal Separation* (El-Wakil, 1985).

### c. *Centrifugal Separation*

Pada tekanan tinggi, dimana perbedaan tekanan antara air dan uap air sangat kecil, gaya sentrifugal yang lebih besar dari gaya gravitasi, dapat digunakan. Piranti pemisahan secara sentrifugal disebut juga *cyclone* atau *turbo separator*. Proses pemisahan ini terjadi pada tekanan di dekat tekanan kritis. Pada sebuah *centrifugal separator*, uap basah yang diperoleh dari *riser-riser* dibelokkan ke bawah menuju bagian pemisah. Kemudian uap basah masuk menuju *separator-separator*, yang berjajar di sepanjang *steam drum*. Baling-baling pemandu di dalam *steam drum* memberikan gerakan berputar pada uap basah dapat menyebabkan tetesan air yang lebih berat bergerak secara radial melalui uap air yang lebih ringan, mengenai permukaan dinding *separator*, dan dilepaskan ke permukaan air melalui bagian luar silinder. *Separator*

dilengkapi dengan sebuah lempengan berkelok-kelok pada jalan keluar uap air untuk melakukan proses pemisahan lebih lanjut (El-Wakil, 1985).

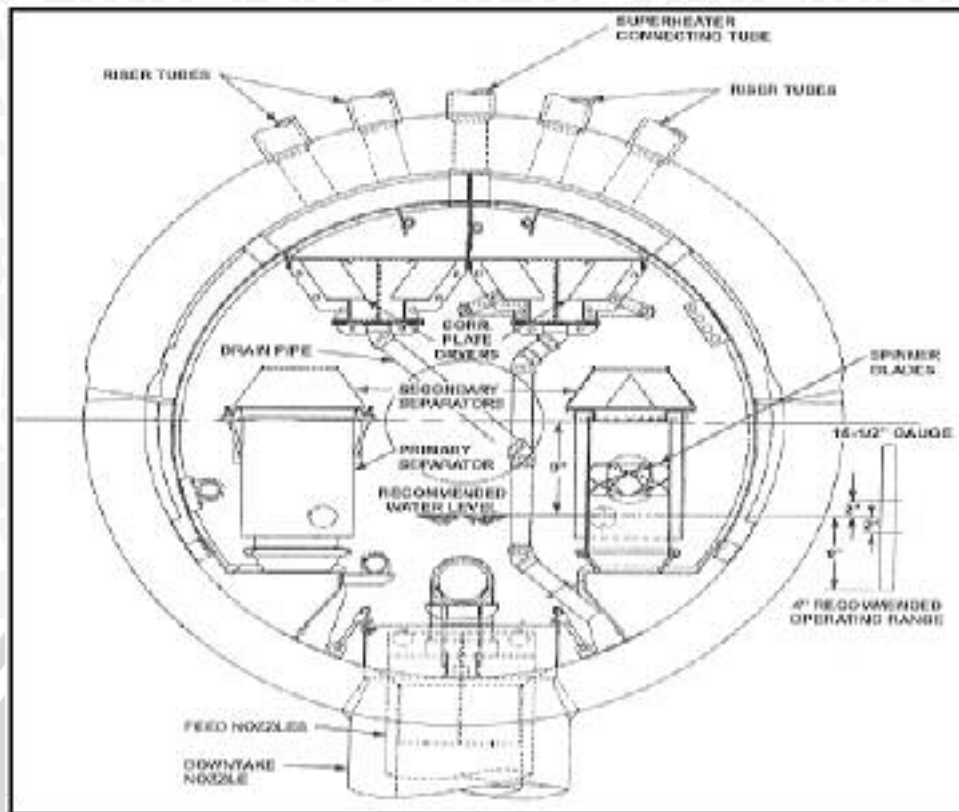


**Gambar 2.3** Pembagian jenis *steam drum* (a) *Gravity separation* (b) *Mechanical separation* (c) *Centrifugal separation*

**Sumber :** El-Wakil, 1985: 49

### 2.3.2 Proses Pemisahan Uap

*Feedwater* masuk ke drum melalui tiga saluran keluaran dari economizer. Uap bercampur air masuk ke dalam *Steam Drum* melalui riser yang terletak di bagian atas *steam drum*, dan turun melalui dua sisi *steam drum*. Pada dasar drum, uap dan air dialirkan ke atas masuk ke dalam dua turbo separators (pemisah), yaitu tempat dimulainya proses pemisahan uap dan air. Pemisahan uap dan air dalam *Steam Drum* terjadi dalam tiga tahap yaitu primer, sekunder, dan pengeringan. Tahap primer dan sekunder terjadi dalam turbo separators, sedangkan tahap ketiga terjadi pada lapisan metal yang berlipat (*corrugated metal plates*). Sasaran utama dari piranti pemisahan ini adalah untuk mengurangi kelembaban dalam uap sebelum meninggalkan drum. Uap yang keluar dari drum seharusnya 99,9 % bebas kelembaban.



**Gambar 2.4.** *Steam Drum Boiler*

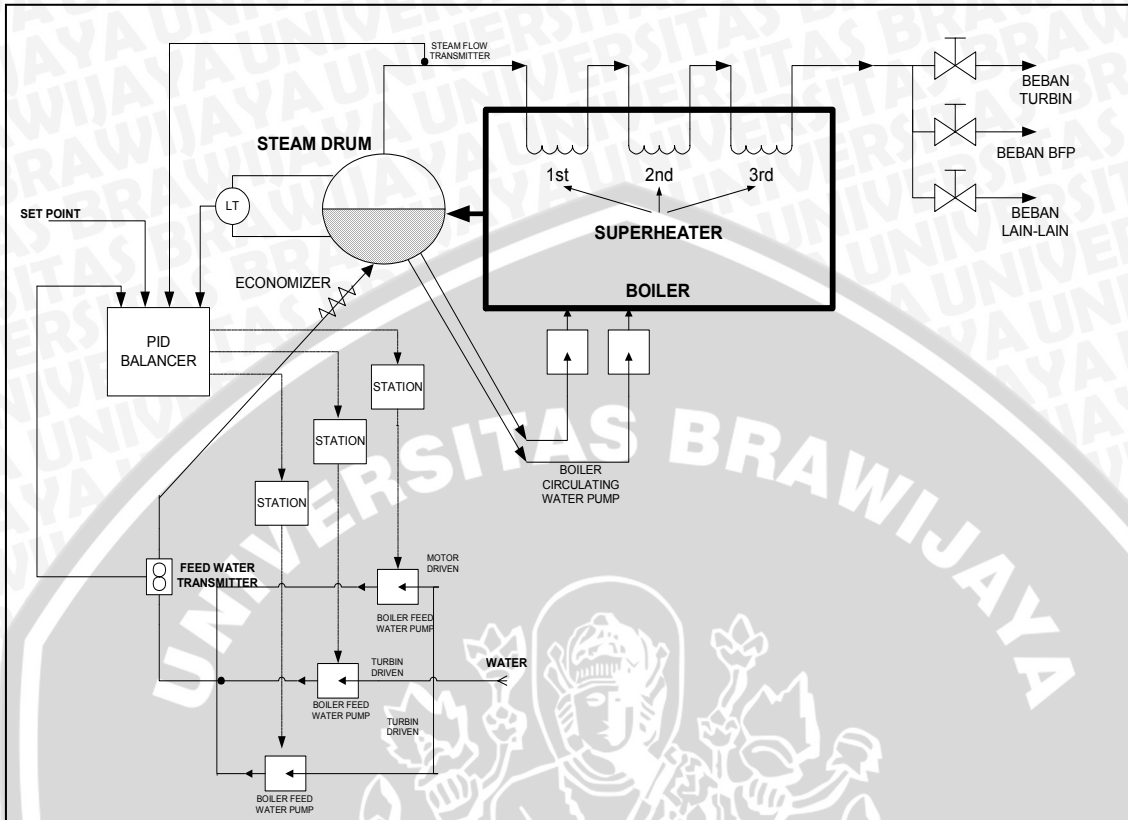
Sumber : ABB Manual Book

Uap yang bercampur dengan air memasuki tahap pertama (primer) dari turbo separators yang mempunyai silinder masukan dan keluaran dengan *blade* pemutar yang terletak di bagian bawah separator. Uap dan air memasuki silinder, melewati blade pemutar yang menyebabkan terjadinya gerakan memutar sentrifugal yang membuat air terpercik keluar ke penampungan air utama. Uap dan air yang masih tersisa naik ke tahap pemisahan kedua (sekunder).

Pada tahap pemisahan sekunder terdapat lapisan-lapisan logam yang berlipat (*corrugated metal plates*), yang terlatak pada bagian atas turbo separators. Bintik-bintik air dipisahkan dari uap, dengan merubah arah aliran uap dengan cepat di antara lapisan-lapisan yang berlipat. Tahap akhir dari pemisahan uap dan pengeringan terjadi pada satu set lapisan logam belipat yang terletak pada bagian atas steam drum. Uap yang meninggalkan turbo separators mengalir naik ke bagian terakhir dari pengering yang berbentuk lapisan berlipat yang juga merubah arah aliran uap. Bintik air yang dipisahkan pada tahap pengeringan kemudian dikembalikan ke penampungan air yang berada pada dasar drum melalui pipa saluran air (*drain pipes*). Air yang telah berada di penampung



air dikeluarkan melalui *downcomer* dengan debit yang tetap untuk dipanaskan lagi melalui *water wall* dan kemudian dialirkan kembali ke dalam *Steam Drum* melalui riser.



Gambar 2.5. Piping Diagram Pengendalian Level dan Flow pada Steam Drum

Sumber : Pengamatan

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metodologi Penyusunan

Metodologi yang digunakan untuk penyelesaian tugas akhir ini adalah :

1. Pengambilan data.
2. Penyusunan model matematis *plant* dan persamaan fungsi alih..
3. Perancangan hukum adaptasi
4. Perancangan kontroller MRAS
5. Simulasi sistem dengan program Matlab 6.5.
6. Analisa hasil dari simulasi sistem.
7. Kesimpulan.

### 3.2 Pengambilan Data

Data yang dipakai merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. IPMOMI-Paiton. Data-data tersebut meliputi prinsip kerja *plant* yang akan diteliti, parameter-parameter yang berhubungan dengan sistem pengendalian *level* air dan *feed water flow* pada *steam drum*.

### 3.3 Penyusunan Model Matematis Plant dan persamaan fungsi alih

Setelah diketahui parameter-parameternya, maka sistem dapat dimodelkan menjadi sebuah persamaan matematis. Dengan memasukkan data-data sistem pada persamaan matematis tersebut, maka bisa didapatkan fungsi alih *plant*.

Untuk menyusun model matematis sistem, maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menentukan Diagram Blok sistem.
2. Menyusun model matematis *Steam Drum* serta sistem yang menyertainya sehingga diperoleh fungsi alih *Plant*.
3. Penentuan model referensi.
4. Penentuan persamaan *error*.
5. Penentuan hukum adaptasi.
6. Penentuan dan tuning parameter pengendali.

### 3.4 Perancangan hukum adaptasi

Perancangan hukum adaptasi dilakukan untuk mengatasi perubahan parameter plant, hukum adaptasi maka akan menentukan parameter kontroler yang baru sesuai dengan kondisi plant.

### 3.5 Perancangan kontroller MRAS

Merepresentasikan hukum adaptasi ke dalam blok diagram kontroller MRAS dengan penambahan generator sinyal bantu.

### 3.6 Simulasi sistem dengan program Matlab 7.0

Simulasi menggunakan menggunakan fasilitas-fasilitas yang tersedia pada software matlab 7.0.

### 3.7 Analisa hasil dari simulasi sistem

Proses analisa dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

#### 1. Penurunan model matematis

Analisa data dilakukan dengan perhitungan menggunakan metode yang akan dibahas pada BAB IV.

#### 2. Analisa Pemodelan

Analisis pemodelan dimaksudkan untuk menjelaskan metode-metode yang digunakan dalam perancangan sistem pengaturan *level* pada *stem drum*

#### 3. Visualisasi

Analisis data yang dilakukan bertujuan agar dapat mengetahui perilaku dari sistem, yang diperoleh dalam bentuk respon terhadap masukan dengan melihat tampilan grafik setelah melakukan simulasi pemodelan matematik pada software MATLAB 7.0.

### 3.8 Kesimpulan

Penarikan kesimpulan.

## BAB IV

### PEMODELAN SISTEM

#### 4.1. *Steam Drum Boiler*

*Steam Drum* merupakan sebuah instrument di dalam sistem boiler yang merupakan kelanjutan dari proses aliran air (*feedwater flow*) setelah economizer. Fungsi primernya adalah memisahkan uap dari campuran air pada uap basah sehingga keluaran *Steam Drum* menjadi uap kering. Fungsi sekundernya adalah memisahkan kotoran dari air dan mengeringkan uap setelah dipisahkan dari air.

#### 2.3.1 Metode pemisahan uap

Metode pemisahan uap yang paling umum digunakan pada industri biasanya di bedakan menjadi tiga yaitu :

##### a. *Gravity Separation*

Metode paling sederhana dalam proses pemisahan uap dari air adalah *gravity separation*. Apabila kecepatan aliran uap yang meninggalkan permukaan air cukup rendah (dibawah 3 ft/s) maka gelembung-gelembung uap akan terpisah secara alami tanpa menyertakan tetesan air. Faktor-faktor lain selain kecepatan yang dapat mempengaruhi proses adalah posisi dari *nozzle downcomer* dan *riser* yang dipengaruhi oleh keluaran uap, biasanya di puncak drum dan berfungsi untuk mengatur tekanan uap. *Gravity separation* diakibatkan oleh perbedaan berat jenis uap dan air.

##### b. *Mechanical Separation*

Pada *boiler-boiler* modern yang berkapasitas dan bertekanan tinggi, tipe *mechanical separation* membagi *gravity separation* dalam dua tahap yaitu primer dan sekunder. Pemisahan primer (*primary separation*) memisahkan sebagian besar air dari uap dan mencegah uap ikut bersama air ke *downcomers*. Pemisahan sekunder (*secondary separation*), yang juga disebut pengeringan uap (*steam drying*) berfungsi memisahkan titik-titik air sisa dan bahan padat dari uap, hasilnya adalah uap murni atau uap kering yang kemudian mengalir ke *superheater*. *Mechanical separation* dilengkapi dengan lapisan tirai (*baffles*), lapisan penyaring (*screen*), dan lapisan berombak (*waving*).

Lapisan *baffle* berfungsi sebagai pemisah primer. Piranti ini merubah arah aliran uap, yang memberikan pemisahan berdasar gaya berat (*gravity separation*), dan beraksi dengan menepukkan lempeng-lempeng yang menyebabkan air turun. Lapisan penyaring (*screen*) terbuat dari jala-jala kawat yang berfungsi sebagai pemisah sekunder. Masing-masing kawatnya berfungsi untuk menangkap titik-titik air yang masih terbawa oleh uap, seperti *filter* yang menangkap debu dari gas. Semua air yang jatuh kembali ke penampung air utama (*primary reservoir*) terjadi karena adanya gravitasi. Lapisan berombak berguna untuk pemisahan primer maupun sekunder. Keefektifannya diperoleh dari permukaannya yang lebih luas dari area pemisahan. Sedangkan tipe yang dipakai di PLTU Paiton 7 & 8 adalah tipe yang ketiga yaitu *Centrifugal Separation* (El-Wakil, 1985).

c. ***Centrifugal Separation***

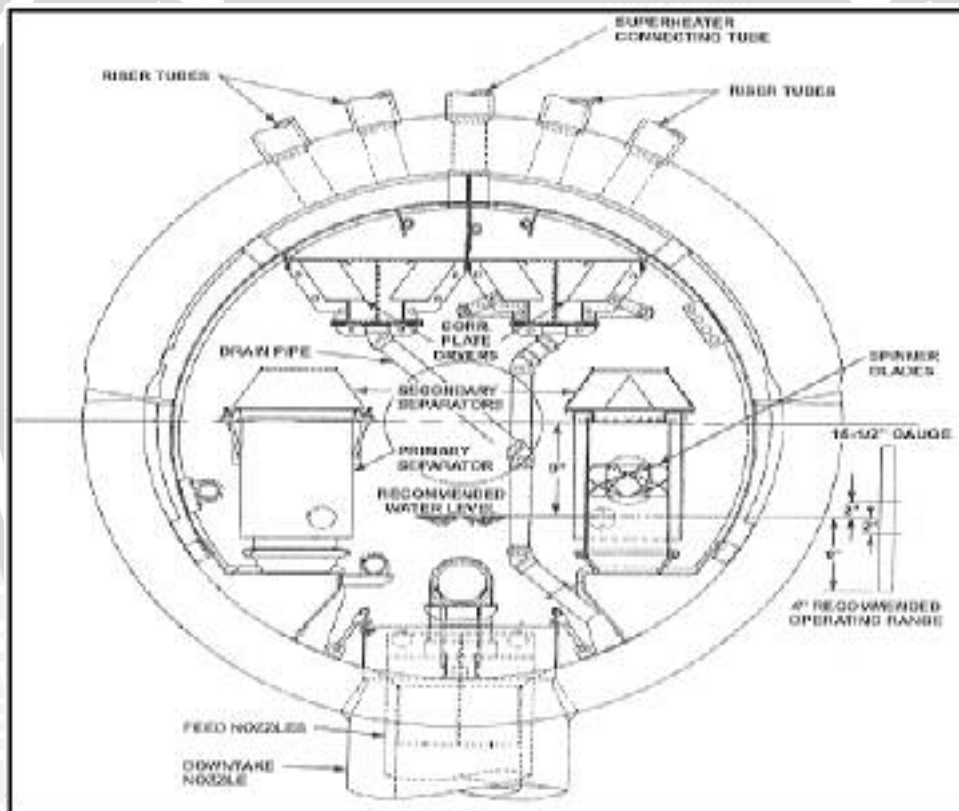
Pada tekanan tinggi, dimana perbedaaan tekanan antara air dan uap air sangat kecil, gaya sentrifugal yang lebih besar dari gaya gravitasi, dapat digunakan. Piranti pemisahan secara sentrifugal disebut juga *cyclone* atau *turbo separator*. Proses pemisahan ini terjadi pada tekanan di dekat tekanan kritis. Pada sebuah *centrifugal separator*, uap basah yang diperoleh dari *riser-riser* dibelokkan ke bawah menuju bagian pemisah. Kemudian uap basah masuk menuju *separator-separator*, yang berjajar di sepanjang *steam drum*. Baling-baling pemandu di dalam *steam drum* memberikan gerakan berputar pada uap basah dapat menyebabkan tetesan air yang lebih berat bergerak secara radial melalui uap air yang lebih ringan, mengenai permukaan dinding *separator*, dan dilepaskan ke permukaan air melalui bagian luar silinder. *Separator* dilengkapi dengan sebuah lempengan berkelok-kelok pada jalan keluar uap air untuk melakukan proses pemisahan lebih lanjut (El-Wakil, 1985).

**4.1.2. Karakteristik Fisik *Steam drum***

Ukuran drum ditentukan oleh kebutuhan ruang untuk pemisahan uap dan piranti pengeringan yang diperlukan dalam produksi uap dari unit. Untuk unit ini, *Steam Drum* yang dipakai berdiameter 1778 mm dengan panjang 30022,8 mm. Dalam pembuatannya digunakan pelat berlapis dua. Setengah bagian atas mempunyai ketebalan 203,2 mm karena harus mempunyai ketebalan yang cukup untuk menahan beberapa tabung riser dan tabung penghubung dengan superheater. Sedangkan setengah bagian bawah mempunyai ketebalan 166,2 mm.

### 4.1.3. Proses Pemisahan Uap

*Feedwater* masuk ke drum melalui tiga saluran keluaran dari economizer. Uap bercampur air masuk ke dalam *Steam Drum* melalui riser yang terletak di bagian atas *steam drum*, dan turun melalui dua sisi *steam drum*. Pada dasar drum, uap dan air dialirkan ke atas masuk ke dalam dua turbo separators (pemisah), yaitu tempat dimulainya proses pemisahan uap dan air. Pemisahan uap dan air dalam *Steam Drum* terjadi dalam tiga tahap yaitu primer, sekunder, dan pengeringan. Tahap primer dan sekunder terjadi dalam turbo separators, sedangkan tahap ketiga terjadi pada lapisan metal yang berlipat (*corrugated metal plates*). Sasaran utama dari piranti pemisahan ini adalah untuk mengurangi kelembaban dalam uap sebelum meninggalkan drum. Uap yang keluar dari drum seharusnya 99,9 % bebas kelembaban.



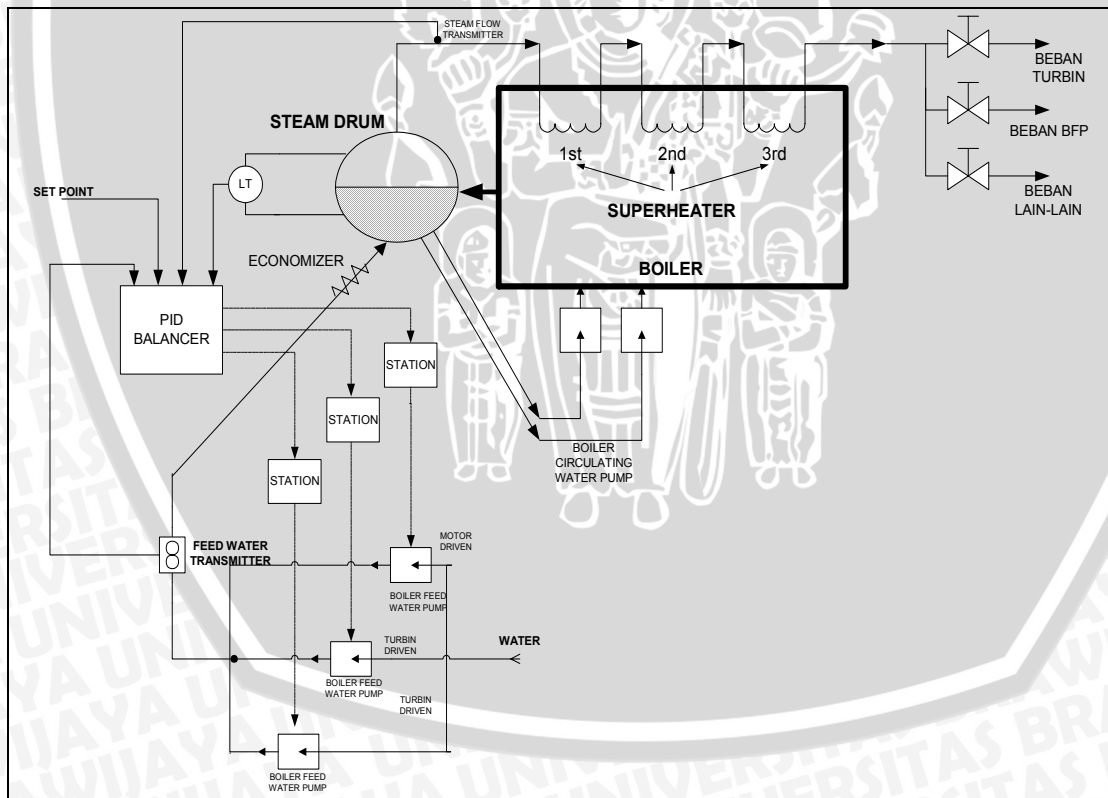
Gambar 4.1. Steam Drum Boiler

Sumber : ABB Manual Book

Uap yang bercampur dengan air memasuki tahap pertama (primer) dari turbo separators yang mempunyai silinder masukan dan keluaran dengan *blade* pemutar yang terletak di bagian bawah separator. Uap dan air memasuki silinder, melewati blade

pemutar yang menyebabkan terjadinya gerakan memutar sentrifugal yang membuat air terpercik keluar ke penampungan air utama. Uap dan air yang masih tersisa naik ke tahap pemisahan kedua (sekunder).

Pada tahap pemisahan sekunder terdapat lapisan-lapisan logam yang berlipat (*corrugated metal plates*), yang terlatak pada bagian atas turbo separators. Bintik-bintik air dipisahkan dari uap, dengan merubah arah aliran uap dengan cepat di antara lapisan-lapisan yang berlipat. Tahap akhir dari pemisahan uap dan pengeringan terjadi pada satu set lapisan logam belipat yang terletak pada bagian atas steam drum. Uap yang meninggalkan turbo separators mengalir naik ke bagian terakhir dari pengering yang berbentuk lapisan berlipat yang juga merubah arah aliran uap. Bintik air yang dipisahkan pada tahap pengeringan kemudian dikembalikan ke penampungan air yang berada pada dasar drum melalui pipa saluran air (*drain pipes*). Air yang telah berada di penampung air dikeluarkan melalui *downcomer* dengan debit yang tetap untuk dipanaskan lagi melalui *water wall* dan kemudian dialirkan kembali ke dalam *Steam Drum* melalui riser.



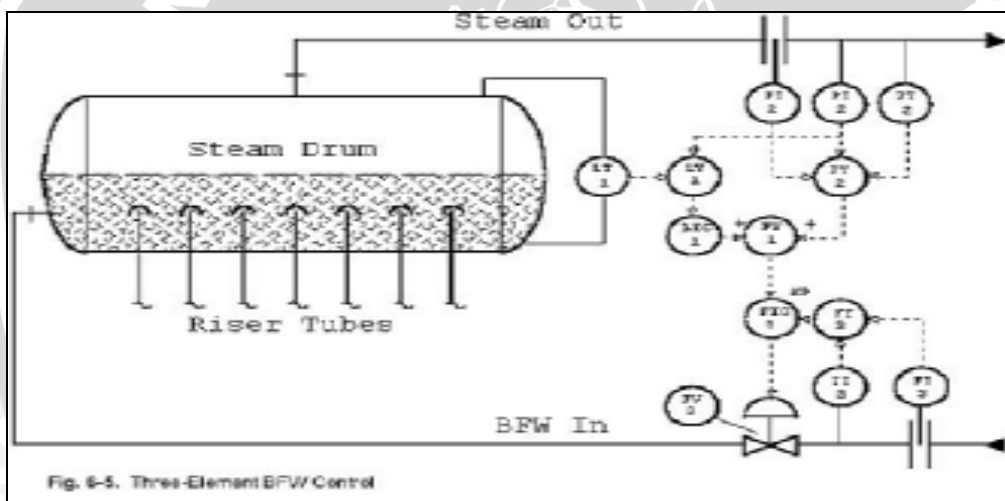
Gambar 4.2. Piping Diagram Pengendalian Level dan Flow pada Steam Drum

Sumber : Pengamatan

#### 4.1.4. Pengendalian *Level Air dan Feed Water Flow* Dalam *Steam Drum*

Ketinggian *level* air dalam *Steam Drum* dikendalikan dengan mengatur aliran air masuk (*feedwater flow*) yang disesuaikan dengan aliran uap (*steam flow*) keluar. Tetapi ada satu faktor yang dapat mengganggu kestabilan *level* selain kedua hal di atas yaitu perubahan beban yang mendadak yang sangat mempengaruhi laju aliran uap. Permintaan beban yang sering berubah akan menyebabkan aliran uap berubah sesuai dengan kebutuhan untuk menggerakkan turbin sehingga *level* ketinggian air dalam *Steam Drum* akan terganggu.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan suatu pengendalian *level* dengan mengatur valve aliran air yang mampu merespon perubahan tersebut dengan baik. Inilah yang disebut *Three Elements Control* yaitu *level drum (drum level)*, tekanan uap (*Steam Drum pressure*) dan aliran air masuk (*feedwater flow*).



Gambar 4.3. Three Elements Control Steam Drum

Sumber : [http://www.driedger.ca/ce6\\_v&t/CE6\\_V&T.html](http://www.driedger.ca/ce6_v&t/CE6_V&T.html)

*Feedwater flow* adalah air yang didistribusikan ke *Steam Drum* untuk proses pemisahan uap. Dalam Gambar 4.2 ditunjukkan bahwa terdapat flow yang keluar dari *Steam Drum* untuk dipanaskan kembali yang disebut BCWP, sehingga karena kondisi yang diinginkan adalah terjaganya *level* pada *Steam Drum* maka jumlah air yang masuk harus sama dengan jumlah air yang keluar dan set point flow adalah nol.

Seringnya terjadi perubahan beban mengakibatkan jumlah uap yang dibutuhkan juga berubah-ubah, akibatnya *level* menjadi tidak konstan. Hal ini mengharuskan *flow*

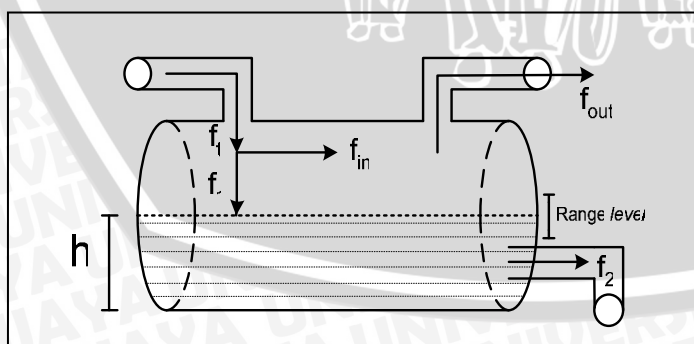


*controller* yang terletak antara *valve* dan *steam drum* untuk memberikan sinyal pada pompa supaya menyesuaikan aliran *feed water flow* dengan *level*. Hal tersebutlah yang mendasari adanya *summing point* antara *level* dan *flow controller*. Dapat juga dikatakan bahwa *level controller* memiliki *set point* yang konstan tetapi *flow controller* memiliki *set point* yang berubah-ubah atau *tracking*. Pada perancangan nantinya digunakan blok sistem kaskade. Hal ini untuk mengatasi pengaruh *dead time* pada system.

#### 4.2. Model Matematis Steam Drum

Steam Drum merupakan instrumen berbentuk silinder namun memiliki luas permukaan berbentuk setengah bola. Pada gambar 4.2 tampak bahwa posisi steam drum pada kondisi riil tidak berdiri tegak secara vertikal tetapi berada pada posisi horisontal. Seperti dijelaskan bahwa steam drum berfungsi pada proses pemisahan uap dengan menjaga level air yang ada di dalamnya setinggi -9 inch dari titik nol (bagian tengah) atau 0,66 m dari dasar steam drum sesuai Gambar 4.1. Toleransi ketinggian yang diperbolehkan adalah  $\pm 500$  mm dari titik nol. Agar level ini tetap terjaga maka dibutuhkan pasokan air yang disebut *feed water flow* sebesar 578 kg/s pada saat beban normal (600 MW). Pada pengujian nantinya akan diberikan perubahan beban yang berbeda-beda untuk melihat respon *levelnya*.

*Steam Drum* merupakan piranti yang digunakan untuk memisahkan uap basah dan uap kering. Tujuan utama dari pemakaian *steam separator* agar pada turbin tidak terjadi korosi yang dapat menyebabkan kerusakan.



Gambar 4.4. Model Steam Drum

Sumber : ABB Manual Book

Keterangan gambar :

$f_1$  = *flow* total uap yang masuk ke *steam drum* (kg/s)

$f_2$  = flow uap basah yang masuk ke *steam drum* (kg/s)

$f_{in}$  = flow air yang keluar dari *steam drum* (kg/s)

$f_{out}$  = flow uap kering yang keluar dari *steam drum* (kg/s)

$h$  = ketinggian air pada *steam drum* (m)

Proses pada steam drum juga menggunakan hukum kesetimbangan massa, yaitu *laju massa masuk – laju massa keluar = laju perubahan massa* (Coughanowr,1991 : 64-65)

Dalam Buku Pedoman Operasi Steam Drum (*Manual Book*) yang dimiliki PT. IPMOMI telah ditetapkan bentuk fungsi alih steam drum adalah :

$$\frac{H_{sd}(s)}{Q_{sd}(s)} = \frac{(k_{sd1}\tau_{sd} + k_{sd2})s + k_{sd1}}{s(1 + \tau_{sd}s)} \quad (4.1)$$

Dengan :

$H_{sd}(s)$  = Ketinggian (m)

$Q_{sd}(s)$  = Debit air (kg/s)

$k_{sd}$  = Penguatan Steam Drum

$\tau_{sd}$  = Konstanta waktu Steam Drum

Dari hasil pengamatan di lapangan, diperoleh nilai-nilainya adalah :

Tabel 4.1. Penguatan dan Konstanta

$k_{sd1}$	$k_{sd2}$	$\tau_{sd}$
1	2.7	2.1

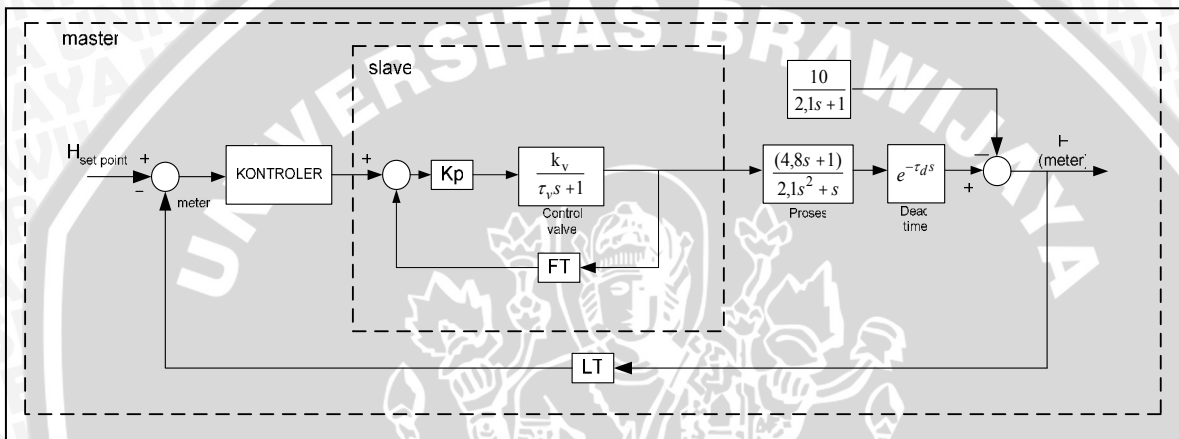
Dengan memasukkan nilai-nilai tersebut pada fungsi alih, diperoleh :

$$\frac{H_{sd}(s)}{Q_{sd}(s)} = \frac{(k_{sd1}\tau_{sd} + k_{sd2})s + k_{sd1}}{s(1 + \tau_{sd}s)} \quad (4.2)$$

$$\frac{H_{sd}(s)}{Q_{sd}(s)} = \frac{(1.2,1 + 2,7)s + 1}{s(1 + 2,1s)} \quad (4.3)$$

$$\frac{H_{sd}(s)}{Q_{sd}(s)} = \frac{4,8s + 1}{2,1s^2 + s} \quad (4.4)$$

Sistem memiliki dua *process variable* dengan dua *control valve* yang memiliki kapasitas masing-masing kapasitas 50 %, maka dalam gambar terdapat *summing point* setelah blok *control valve* untuk memenuhi kebutuhan flow 100 %. Pengendali yang digunakan di lapangan adalah PID *selective controller* dengan *signal selector* yaitu pemilihan sinyal yang tertinggi atau terendah untuk kemudian diproses. Dalam skripsi ini penulis mencoba merancang sistem pengendalian menggunakan MRAS. Perancangan MRAS tersebut menggunakan prinsip sistem kontrol Kaskade untuk mengatasi pengaruh adanya *dead time* atau *transport lag*. Penggunaan kontroler P pada loop slave berfungsi untuk mempercepat respon *control valve*.



Gambar 4.5. Blok Diagram Kontrol Kaskade *Level* dan *Flow*

Sumber : Perancangan

#### 4.3. Fungsi Alih *Control Valve*

Katup pengendali terdiri dari sebuah devais pneumatik yang menggerakkan tangkai (*stem*) katup sebagai fungsi tekanan pada diafragma. Tangkai katup memposisikan *plug* dimana posisi *plug* membatasi *flow* fluida yang mengalir melalui *control valve* tersebut. *Flow* uap panas lanjut untuk menggerakkan turbin uap ditentukan oleh prosentase bukaan *control valve*, pada sistem pengendalian ini digunakan *control valve* jenis *globe valve* yang memiliki karakteristik linier dan dilengkapi dengan aktuator diafragma. Fungsi alih dari *valve* dapat dinyatakan sebagai sistem orde satu sebagai berikut:

$$\frac{\dot{m}(s)}{U(s)} = \frac{G_T}{T_{CV}s + 1} \quad (4.9)$$

Sumber: Coughanowr, Donald R. *Process*

*Sistem Analysis and Control*. 1991.

Halaman: 124 – 127

- dengan  $\dot{m}(s)$  = laju aliran massa (kg/s)  
 $U(s)$  = sinyal kendali elektrik (mA)  
 $G_T$  = gain total dari valve  
 $T_{CV}$  = konstanta waktu valve

Konstanta waktu valve dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_{CV} = T_V \cdot (\Delta V + R_V)$$

- dengan  $T_V$  = time stroke (s)  
 $R_V$  = perbandingan konstanta waktu dengan *time stroke*  
 ( $R_V = 0,03$  untuk aktuator diafragma)  
 $\Delta V$  = fraksi perubahan posisi valve  

$$= \frac{\text{flow}_{\text{maks}} - \text{flow}_{\text{min}}}{\text{flow}_{\text{maks}}} = \frac{(586,04 \text{ kg/s} - 561,96 \text{ kg/s})}{586,04 \text{ kg/s}} = 0,041$$

Karena sinyal kendali berupa sinyal elektrik, sedangkan katup kendali hanya menerima sinyal pneumatik, sehingga untuk menjalankan valve tersebut sinyal keluaran kontroler harus melalui transduser I/P yang mengubah besaran arus dengan nilai 4-20 mA menjadi besaran tekanan dengan nilai 3-15 psi.

Maka gain transduser adalah sebagai berikut:

$$K_T = \frac{\text{Span}_{\text{keluaran}}}{\text{Span}_{\text{masukan}}} = \frac{15 - 3 \text{ psi}}{20 - 4 \text{ mA}} = 0,75 \text{ psi/mA}$$

Penguatan valve untuk karakteristik aliran linier adalah :

$$K_V = \frac{\text{range flow}_{\text{output}}}{\text{range tekanan}_{\text{input}}} = \frac{586,04 - 561,96 \text{ Kg/s}}{15 - 3 \text{ Psi}} = 1,34 \text{ Kg/s Psi}$$

Sehingga gain total valve:

$$G_T = K_T \cdot K_V = 0,75 \cdot 1,34 = 1 \text{ kg/s} \cdot \text{mA}$$

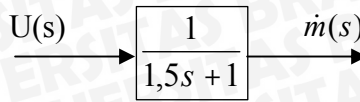
dan konstanta waktu valve adalah:

$$T_{CV} = T_V (\Delta V + R_V) = 21(0,041 + 0,03) = 1,5$$

Maka fungsi alih valve adalah :

$$\frac{\dot{m}(s)}{U(s)} = \frac{G_T}{T_{CV}s + 1} = \frac{1}{1,5s + 1}$$

Dalam bentuk diagram blok adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Diagram blok *control valve*

Katup pengendali (*valve*) yang digunakan di lapangan sebanyak dua buah dengan kapasitas masing-masing 50 %. Jadi untuk memenuhi kebutuhan 100 % air ke *steam drum* maka kedua *valve* tersebut harus difungsikan. Sesuai blok diagram pada Gambar 4.2, fungsi alih *valve* adalah :

$$\frac{Q(s)}{U(s)} = \frac{1}{1,5s + 1} + \frac{1}{1,5s + 1} = \frac{2}{1,5s + 1} \quad (4.7)$$

#### 4.4. Fungsi Alih *Level Transmitter*

Gain penguatan *sensor-transmitter* didefinisikan sebagai  $K = \frac{\text{span}_{\text{output}}}{\text{span}_{\text{input}}}$ .

Sensor *level* dapat bekerja pada range  $\pm 9''$  dari *level set point*.

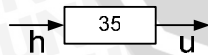
$$\text{range maximum} = 0,66 + 0,229 = 0,889 \text{ m}$$

$$\text{range minimum} = 0,66 - 0,229 = 0,431 \text{ m}$$

Dari data teknis diperoleh bahwa  $\Delta h$  (span) adalah  $0,431 \text{ m} - 0,889 \text{ m}$  memberi kesetaraan arus listrik 4 – 20 mA (Soloman, 1994:307). Sehingga penguatan *level transmitter* adalah :

$$K_t = \frac{20 - 4 \text{ mA}}{0,889 - 0,431 \text{ m}}$$

$$K_t = \frac{16}{0,458} = 35 \text{ mA/m}$$



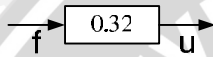
Gambar 4.7. Diagram blok *level transmitter*

Keterangan : h = ketinggian (m)  
U = sinyal elektrik (mA)

#### 4.5. Fungsi Alih *Flow Transmitter*

Gain penguatan *sensor-transmitter* didefinisikan sebagai  $K = \frac{\text{span}_{\text{output}}}{\text{span}_{\text{input}}}$ . Dari data teknis diperoleh bahwa  $\Delta h$  (span) adalah 550 - 600 kg/s memberi kesetaraan arus listrik 4 - 20 mA (Soloman, 1994:307). Sehingga penguatan *flow transmitter* adalah :

$$K_t = \frac{(20 - 4) \text{ mA}}{(600 - 550) \text{ kg/s}}$$
$$20 - 4 / 600 - 550$$
$$K_t = \frac{16}{50} = 0,32 \text{ mA/kg s}$$



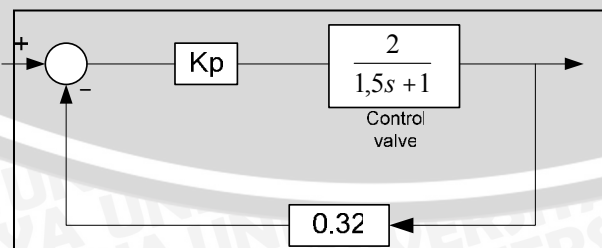
Gambar 4.8 Diagram blok *Flow transmitter*

Keterangan :  $f$  = *flow* fluida (kg/s)  
 $U$  = sinyal elektrik (mA)

#### 4.6. Konstanta Proporsional Untuk Kontrol *Flow*

Loop *slave* pada diagram loop tertutup adalah pengendalian *flow*. *Output* dari loop *slave* adalah tekanan air untuk mensupply *steam drum* agar *level* air tetap terjaga pada nilai yang telah ditentukan. Penggunaan kontroler Proporsional bertujuan untuk mempercepat respon *control valve* serta mengeliminasi adanya *overshoot* dan osilasi, sehingga kontroler utama dapat bekerja dengan cepat.

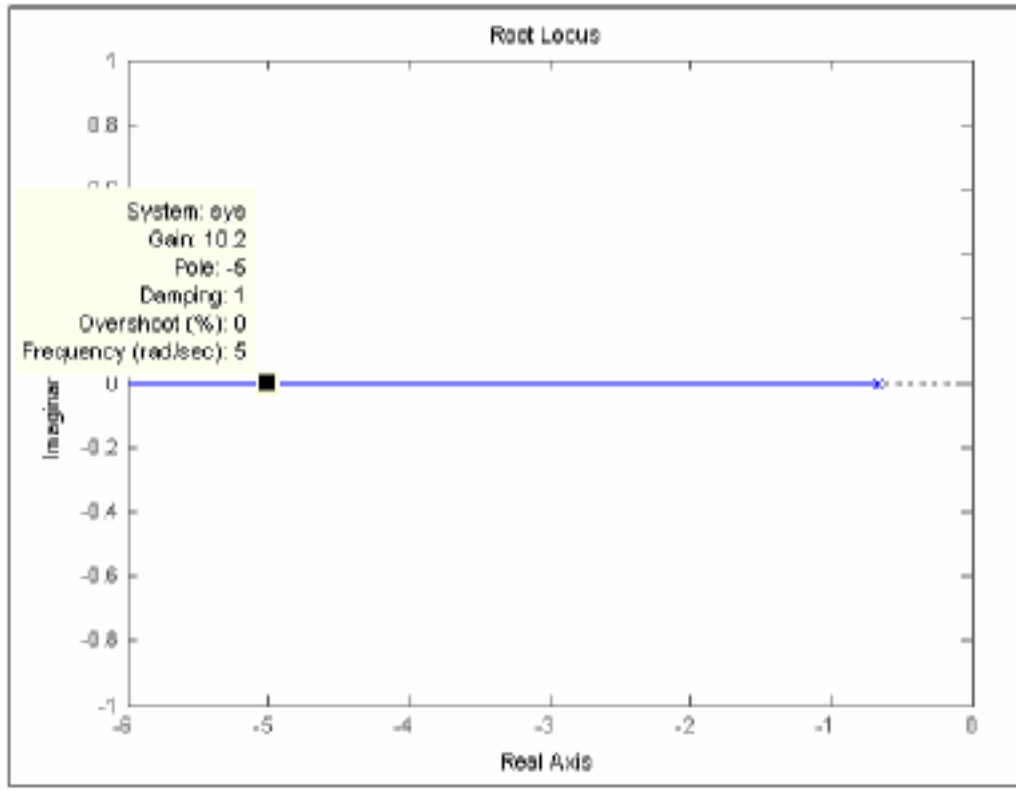
Penentuan konstanta Proporsional dilakukan dengan metode *root locus* dari loop *slave* seperti dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Blok Diagram Loop *Slave*

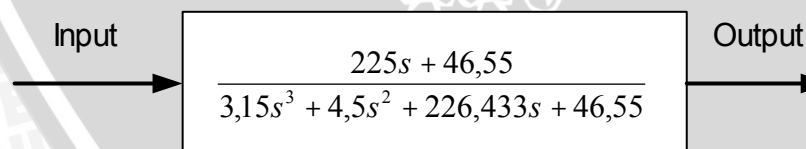
Fungsi alih maju dari loop *slave* adalah  $G(s)H(s) = \frac{0,64}{1,5s + 1}$ . Dengan bantuan program

MATLAB, dari fungsi alih tersebut diperoleh grafik *root locus* sebagai berikut :



Gambar 4.10. Grafik Root Locus

Nilai untuk konstanta Proporsional diambil pada titik terjauh dari nol. Dengan metode *trial and error*, dipilih nilai yang memberikan respon cepat dan *error* kecil yaitu sebesar 10.2.



Gambar 4.11 Persamaan plant

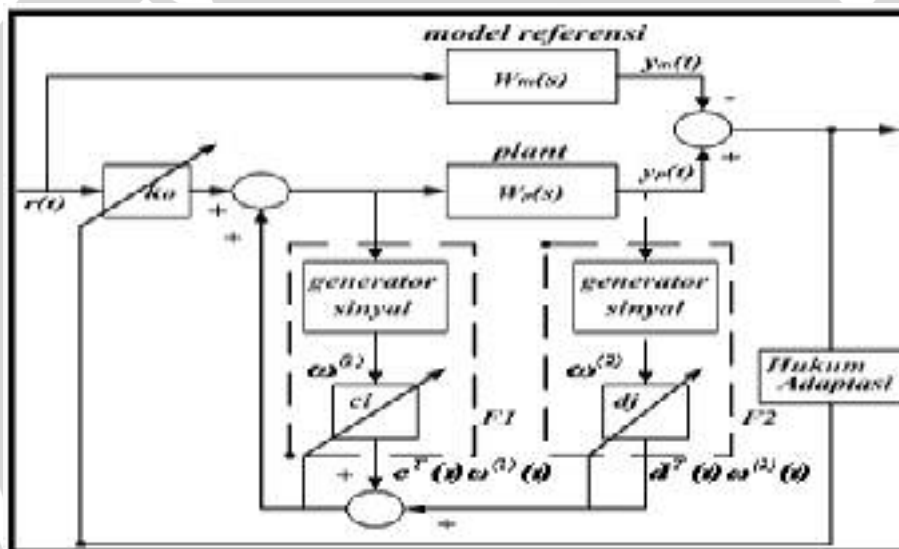
#### 4.7 Penentuan Fungsi Alih Model Referensi

Model referensi ditentukan dengan mempertimbangkan derajat relatif *plant*. Derajat relatif model referensi harus sama dengan atau lebih besar dari derajat relatif *plant* (Narendra and Annaswamy, 1989 : 183). Derajat relatif adalah selisih antara derajat tertinggi polinomial pada *pole* dengan derajat tertinggi polinomial pada *zero* (Butler, 1992: 54).

#### 4.8. Penetapan Parameter Pengendali

Sistem pengendalian MRAS mempunyai syarat harus mampu menyesuaikan fungsi alih  $y_p$  terhadap  $r$  sama dengan  $y_m$  terhadap  $r$ . Struktur pengendali secara umum mempunyai generator sinyal bantu yang membangkitkan parameter sinyal  $\omega$  sehingga sinyal kendali yang dihasilkan pengendali adalah  $u = \theta^T \cdot \omega$ . Dalam hal ini  $\theta$  adalah parameter pengendali.

*Plant* yang akan dikendalikan mempunyai orde sama dengan dua dan derajat relatif sama dengan dua. Sinyal kendali diberikan kepada *plant* agar sinyal keluaran *plant* dapat mengikuti sinyal keluaran model referensi. Pada gambar 4.11, pengendali terdiri atas penguat  $k_0, F_1$ , dan  $F_2$ .  $F_1$  terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter  $c$ .  $F_2$  terdiri atas generator sinyal bantu dan parameter  $d$ .



**Gambar 4.12** Struktur dasar pengendali adaptif

( Sumber : Butler, 1992: 53)

$F_1$  dan  $F_2$  dinyatakan dalam fungsi alih  $W_1$  dan  $W_2$ , dengan persamaan :

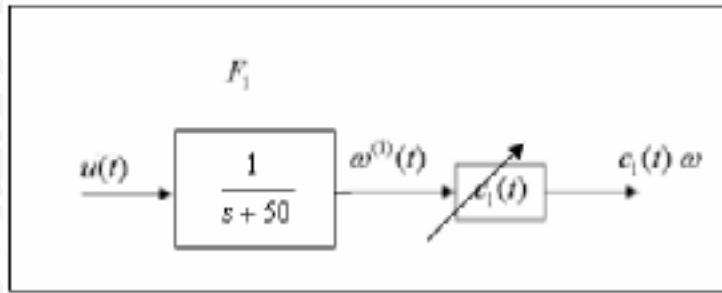
$$W_1(s) = \frac{C(s)}{N(s)} \quad \text{dan} \quad W_2(s) = \frac{D(s)}{N(s)}$$

Polinomial  $N(s)$  pada generator sinyal bantu sama dengan *zero* model referensi (Sastry dan Bodson, 1993 : 105). Sehingga fungsi alih  $W_1$  dan  $W_2$  adalah :

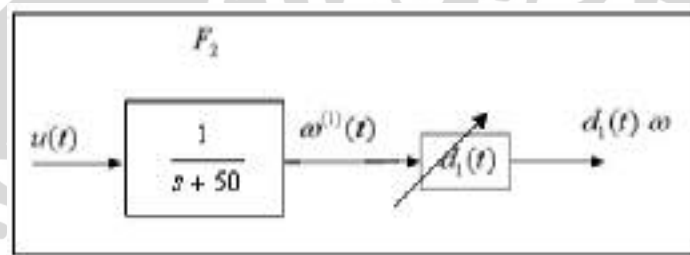
$$W_1(s) = \frac{c_1}{s + 50} \quad \text{dan} \quad W_2(s) = \frac{d_1}{s + 50} \quad (4.12)$$

Dalam diagram blok,  $F_1$  dan  $F_2$  digambarkan sebagai berikut:





Gambar 4.13 Diagram blok generator sinyal 1 dan parameter  $c_1$  pada  $F_1$



Gambar 4.14 Diagram blok generator sinyal 2 dan parameter  $d_1$  pada  $F_2$

Parameter pengendali adalah  $\theta^T$ , dan parameter generator sinyal adalah  $\omega^T$ , dengan

$$\theta^T = [k_0(t), c_1(t), d_1(t)]$$

$$\omega^T = [r(t), \omega^{(1)}(t), \omega^{(2)}(t)]$$

maka sinyal kendali adalah

$$u(t) = \theta^T \cdot \omega^T$$

$$u(t) = k_0(t) \cdot r(t) + c_1(t) \cdot \omega^{(1)}(t) + d_1(t) \cdot \omega^{(2)}(t) \tag{4.13}$$

#### 4.9 Persamaan Error

Proses adaptasi berakhir jika keluaran *plant* dapat mengikuti keluaran model referensi. Selama berlangsung proses adaptasi, berlaku parameter *error*  $\phi$  yang besarnya,

$$\phi = \theta(t) - \theta^* \tag{4.14}$$

Dalam hal ini,  $\theta^*$  adalah parameter pengendali yang diharapkan dalam proses adaptasi. Sedangkan  $\phi$  adalah parameter *error* (Sastry dan Bodson, 1993 : 109).



$$\theta^{*T} = [k_0^*, c_1^*, d_1^*] \quad (4.15)$$

sehingga sinyal kendali dinyatakan sebagai

$$u(t) = k_0^*(t).r(t) + c_1^*(t).\omega^{(1)}(t) + d_1^*(t).\omega^{(2)}(t) \quad (4.16)$$

Sedangkan persamaan *error* antara model referensi dengan *plant* adalah :

$$e_1(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (4.17)$$

#### 4.10 Penentuan Hukum Adaptasi

Proses adaptasi berlangsung dengan adanya perubahan nilai parameter pengendali. Proses ini berlangsung selama terjadi error antara keluaran plant dengan keluaran model referensi. Proses adaptasi diatur melalui cara yang disebut dengan hukum adaptasi (Narendra dan Annaswamy, 1989 : 184). Nilai parameter pengendali akan diubah sedemikian rupa sehingga error antara  $y_p$  dan  $y_m$  sama dengan nol. Penyesuaian parameter pengendali akan menghasilkan sinyal kontrol  $u$  sebagai masukan bagi plant., sehingga keluaran plant mendekati model referensi pada saat  $t$  sama dengan tak terhingga. Hal tersebut dinyatakan sebagai,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (4.18)$$

Pada pengendalian adaptif dengan MRAS, error antara keluaran plant dengan keluaran model referensi digunakan secara langsung untuk mengubah nilai parameter pengendali. Proses adaptasi pada MRAS disebut dengan adaptasi langsung (Sastry dan Bodson, 1993 : 110).

Hukum adaptasi yang digunakan adalah metode *Lyapunov*. Metode *Lyapunov* dipilih karena melalui metode ini akan diperoleh sistem pengendalian adaptif yang stabil (Sastry dan Bodson, 1993 : 8).

Untuk mencapai kestabilan, fungsi *Lyapunov*  $V(x)$  harus merupakan fungsi dalam bentuk *state*. Dengan syarat (Butler, 1997 : 12):

$$V(x) > 0, \text{ untuk } x \neq 0 \text{ (definit positif)}$$

$$V(x) < 0, \text{ untuk } x \neq 0 \text{ (definit negatif)}$$

$$V(x) \rightarrow \infty, \text{ untuk } |x| \rightarrow \infty$$

$$V(x) = 0$$

Untuk menerapkan metode Lyapunov, diperlukan tahapan :

1. Adanya persamaan *error*. Persamaan *error* tersebut dapat berupa *error* keluaran yaitu  $y_p - y_m$ .
2. Untuk mendapatkan hukum adaptasi, dipilih fungsi *Lyapunov* yang mengandung sinyal *error*  $e$  dan parameter *error*  $\phi$ , yang dituliskan sebagai (Butler, 1997 : 12)

$$V = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \tag{4.19}$$

Dengan  $e$  merupakan vektor sinyal *error*, dan  $\phi$  adalah vektor parameter *error*.

$\phi = \theta - \theta^*$ . Sedangkan  $\xi$  adalah matriks penguatan adaptasi yang memenuhi syarat definit positif, matriks ditentukan sebagai matriks diagonal sehingga  $\xi^{-1}$  juga memenuhi syarat definit positif. Matriks P merupakan matriks simetri definit positif.

Dengan menurunkan fungsi Lyapunov terhadap waktu maka langsung diperoleh hukum adaptasi.  $V$  mempunyai bentuk  $V = -e^T Q e + \{ \text{beberapa persamaan yang mengandung } \phi \}$  (Butler, 1997 : 13). Persamaan yang mengandung  $\phi$  dibuat sama dengan nol, sehingga diperoleh hukum adaptasi.

$V$  definit negatif jika  $Q$  definit positif. Matriks  $A$  adalah matriks state pada model referensi.  $Q$  dinyatakan sebagai matriks identitas  $I$ .

$$A^T P + P A = -Q \tag{4.20}$$

Fungsi *Lyapunov* yang digunakan yaitu fungsi yang mengandung vektor sinyal *error*  $e$  dan vektor parameter *error*  $\phi$ , yaitu:

$$V = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \tag{4.21}$$

dengan penurunan  $V$ , maka diperoleh (Butler, 1997 : 39) :

$$\dot{V} = e^T (A_m^T P + P A_m) e + 2(\phi^T \omega) b_m^T P e + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \tag{4.22}$$

Matriks P dan Q sebagai matriks simetris definit positif, seperti pada persamaan berikut (Butler, 1997 :39) :

$$A_M^T P + P A_M = -Q \tag{4.23}$$

$$b_m^T P e = e_1 \tag{4.24}$$

Dengan demikian maka persamaan (4.22) dituliskan lagi menjadi:

$$V = -e^T Q e + 2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4.25)$$

Untuk memastikan bahwa V adalah definit negatif, maka dua suku terakhir pada persamaan (4.25) dibuat sama dengan nol, sehingga:

$$(\phi^T \omega) e_1 = -\phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4.26)$$

Dengan demikian, diperoleh hukum adaptasi :

$$\theta = \phi = -\xi \omega e_1 \quad (4.27)$$

Dalam fungsi waktu, hukum adaptasi dinyatakan dengan (Butler, 1997 : 40) :

$$\theta(t) = \theta(t-1) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4.28)$$

Sehingga,

$$\dot{\theta}(t) = \theta(t) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4.29)$$

Dengan penguatan adaptasi yang telah ditentukan dan parameter pengendali yang telah ditentukan maka persamaan hukum adaptasi dinyatakan sebagai :

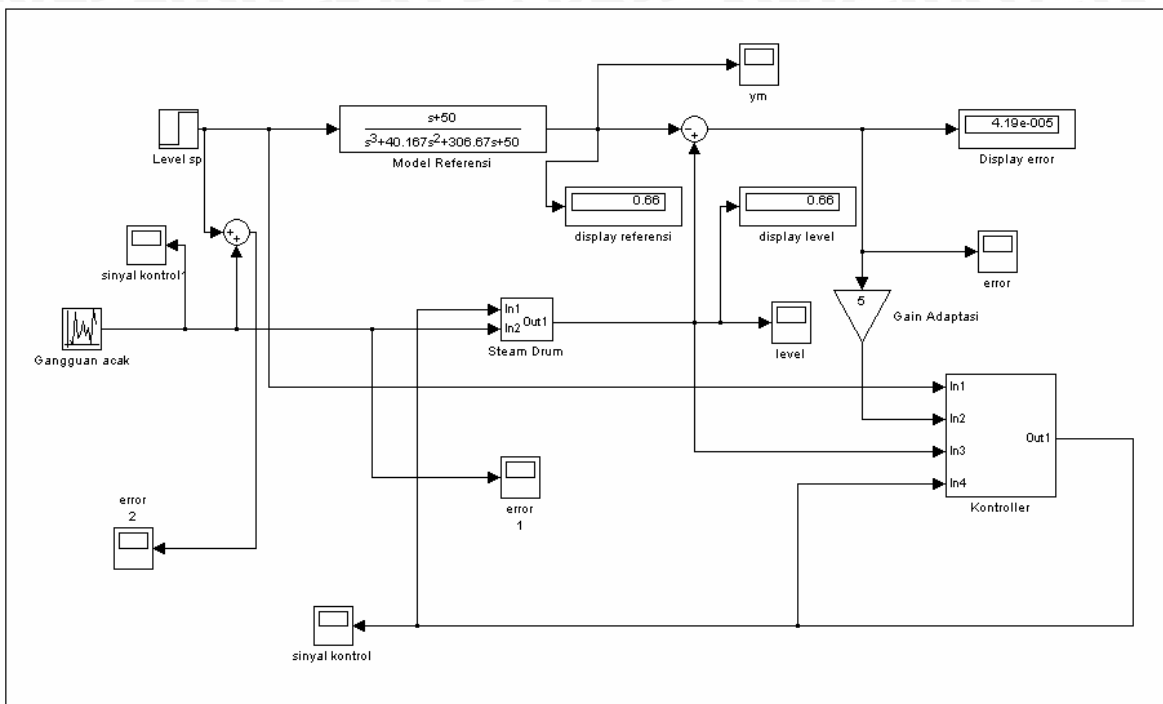
$$\dot{k}_0(t) = k_0(t) - \xi r(t) e_1(t) \quad (4.30)$$

$$\dot{c}_1(t) = c_1(t) - \xi \omega^{(1)}(t) e_1(t) \quad (4.31)$$

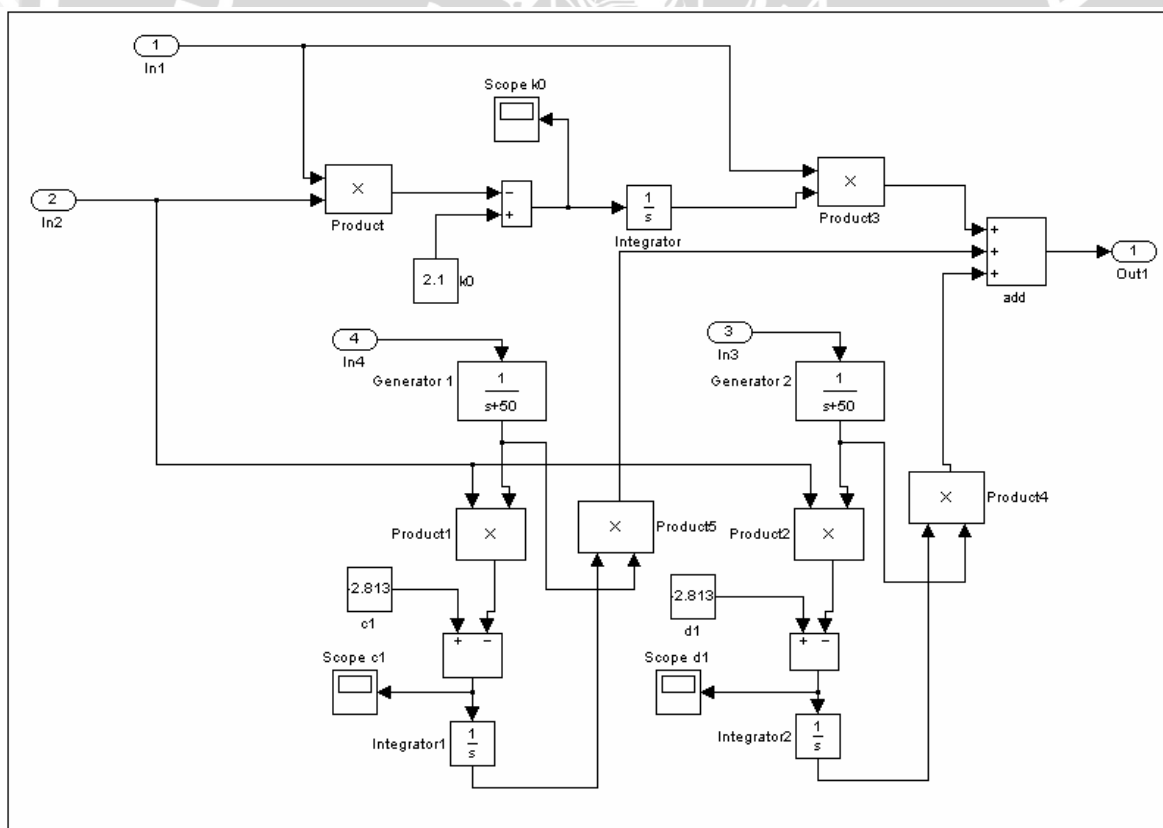
$$\dot{d}(t) = d_1(t) - \xi \omega^{(2)}(t) e_1(t) \quad (4.32)$$

#### 4.11 Skema Simulasi *Steam Drum* dengan *Model Reference Adaptive System* Pada Simulink Matlab 7.0

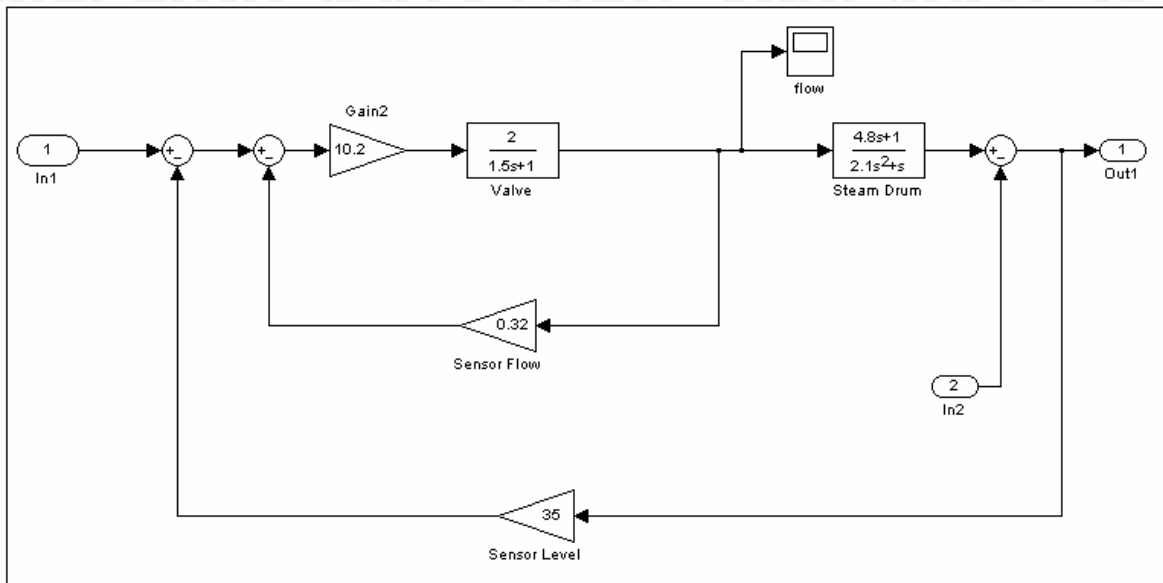
Dari hasil pemodelan dari masing-masing bagian pada *Steam Drum*, kemudian disimulasikan pada Simulink, dengan besar penguatan adaptasi yang diambil adalah sebesar 5. Besarnya nilai penguatan adaptasi berdasarkan metode *trial and error*, sampai didapatkan respon yang terbaik pada keluaran *plant*.



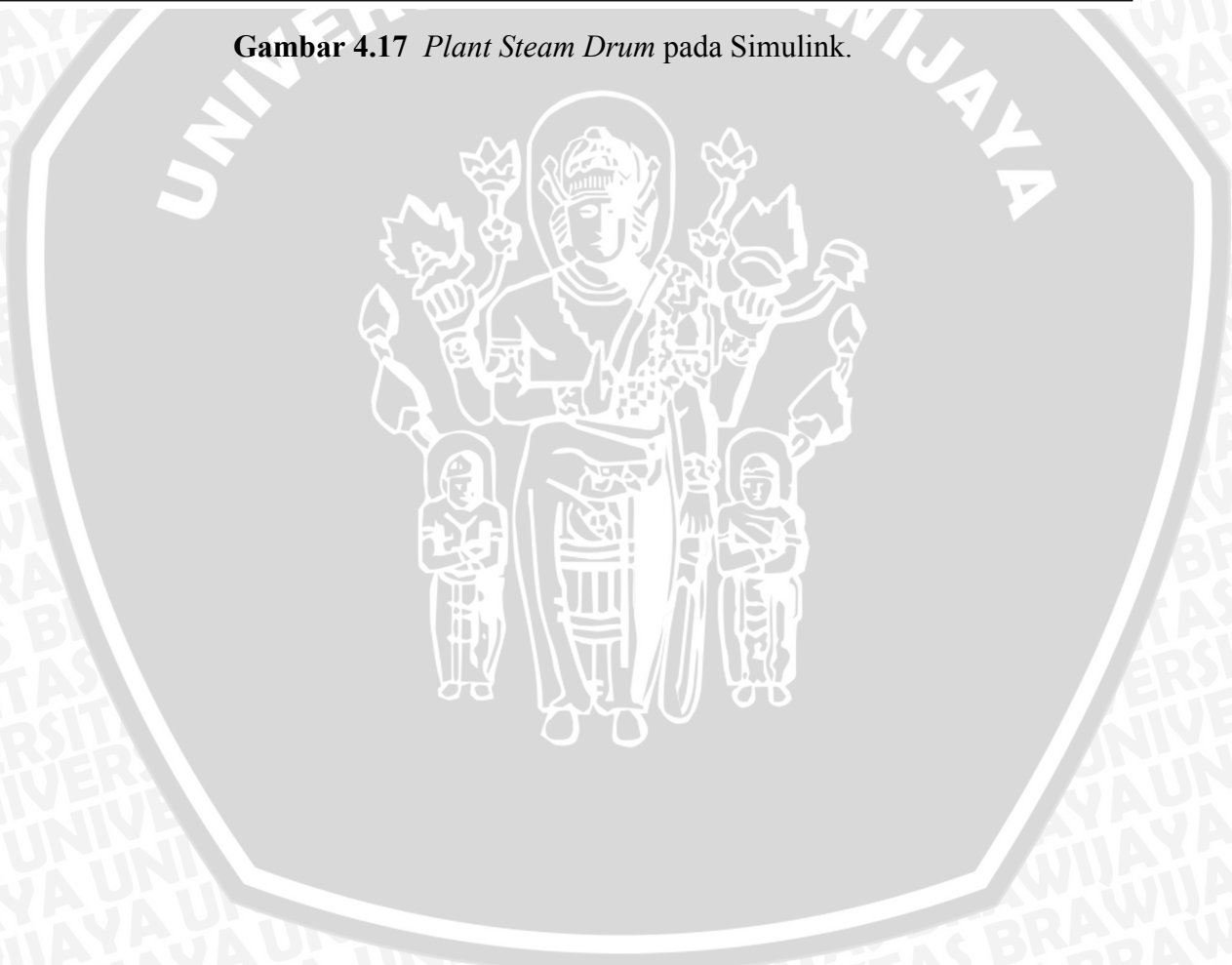
Gambar 4.15 Simulasi *Steam Drum* dengan MRAS pada Simulink.



Gambar 4.16 Kontroler MRAS pada Simulink.



Gambar 4.17 Plant Steam Drum pada Simulink.



## BAB V

### SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM

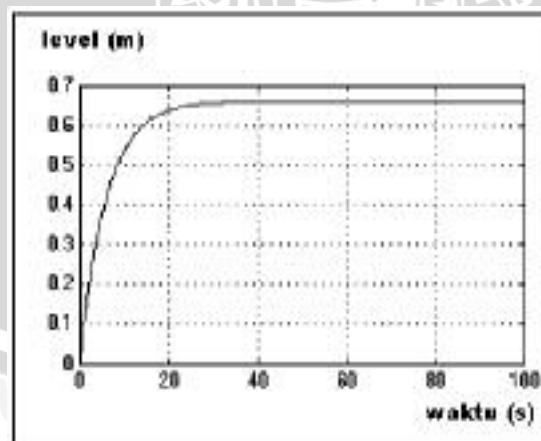
#### 5.1 Simulasi Model Reference Adaptive System Pada Steam Drum Boiler

Dalam simulasi, dilakukan tahap-tahap sebagai berikut:

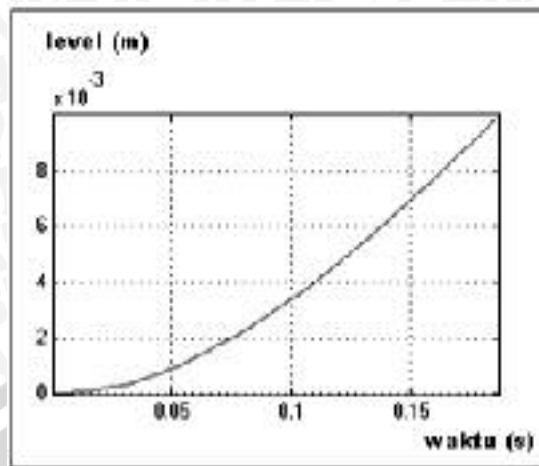
1. Simulasi sistem tanpa *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan.
2. Simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan.  
*Tuning* parameter pengendali pada MRAS digunakan untuk mendapatkan respon *plant* yang dapat menjejaki respon keluaran model referensi. Jika keluaran *plant* sudah dapat menjejaki respon keluaran dari model referensi dengan baik, maka *tuning* parameter pengendali tidak perlu dilakukan. *Tuning* dilakukan dengan cara memberikan nilai awal parameter pengendali pada nilai tertentu sebelum simulasi dilakukan.
3. Simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali dengan gangguan.

#### 5.2 Hasil Simulasi Model Referensi

Hasil simulasi model referensi dengan *set point level* sebesar 0.66 meter ditunjukkan pada gambar 5.1



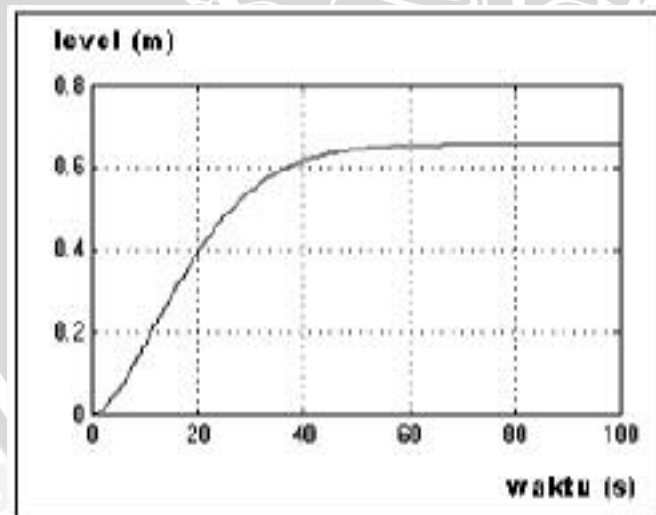
**Gambar 5.1** Respon model referensi pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter.



**Gambar 5.2** Respon model referensi pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter pada awal simulasi.

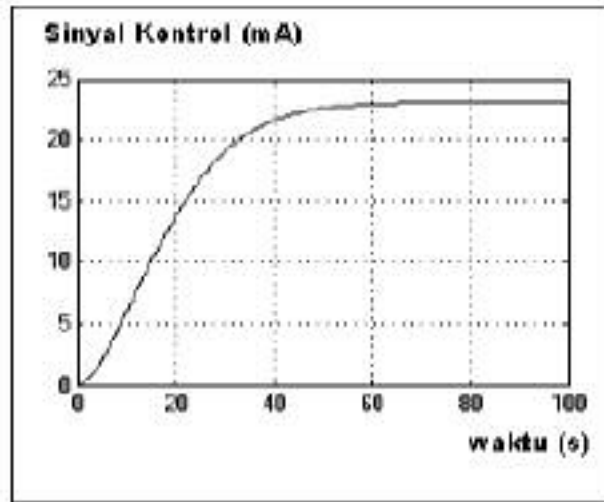
### 5.3 Hasil Simulasi Sistem Tanpa *Tuning* Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan.

Hasil simulasi sistem tanpa *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan dengan *set point level* sebesar 0.66 meter, ditunjukkan pada Gambar 5.3 sampai dengan Gambar 5.3. Parameter awal dari  $k_0$  adalah 0,  $c_1$  sebesar 0 dan  $d_1$  sebesar 0.

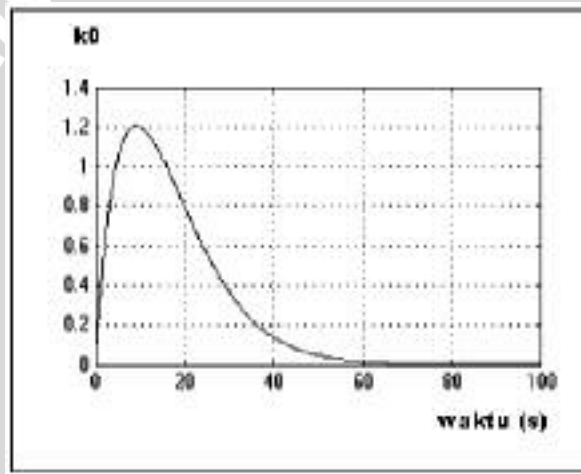


**Gambar 5.3** Respon *plant* pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Tanpa *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan

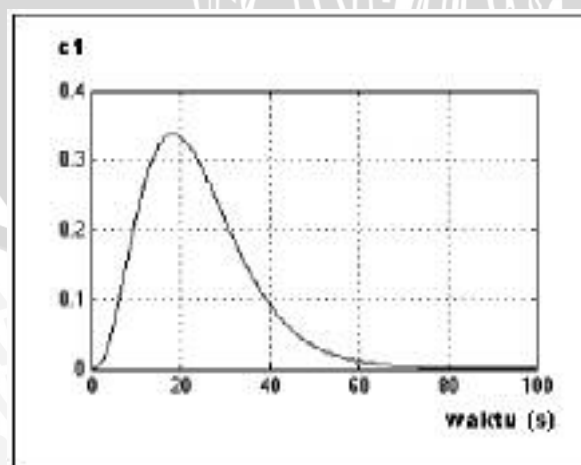




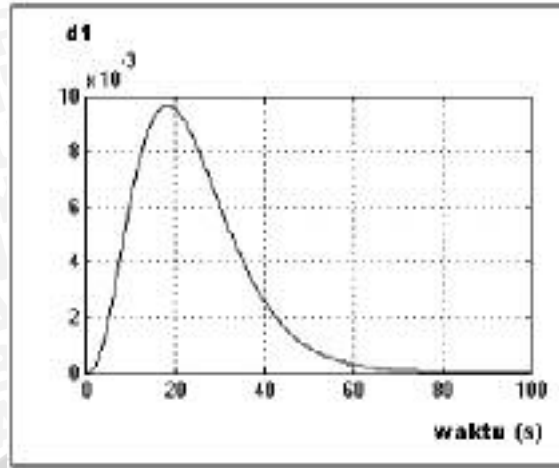
**Gambar 5.4** Respon sinyal kontrol pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Tanpa *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



**Gambar 5.5** Respon parameter pengendali  $k_0$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Tanpa *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



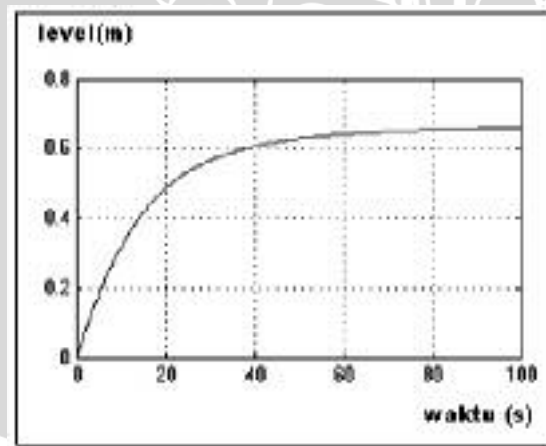
**Gambar 5.6** Respon parameter pengendali  $c_1$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Tanpa *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



**Gambar 5.7** Respon parameter pengendali  $d1$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Tanpa *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan

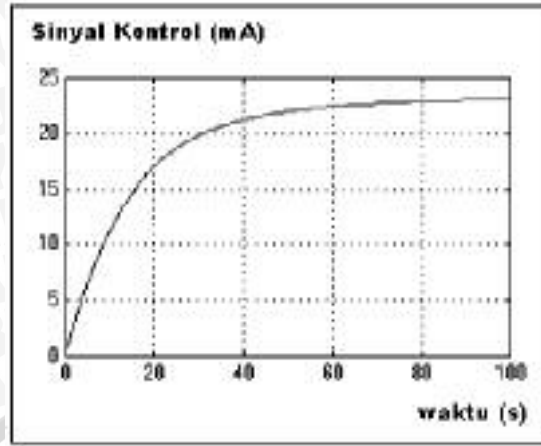
#### 5.4 Hasil Simulasi Sistem Dengan *Tuning* Parameter Pengendali Tanpa Gangguan.

Hasil simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan dengan *set point level* sebesar 0.66 meter, ditunjukkan pada Gambar 5.8 sampai dengan Gambar 5.12. Parameter setelah *dituning* menjadi,  $k_0$  adalah 2.1,  $c_1$  sebesar -2.813 dan  $d_1$  sebesar -2.813.

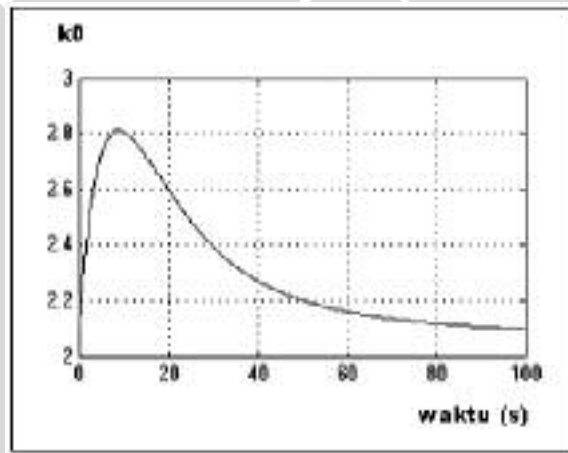


**Gambar 5.8** Respon *plant* pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter.

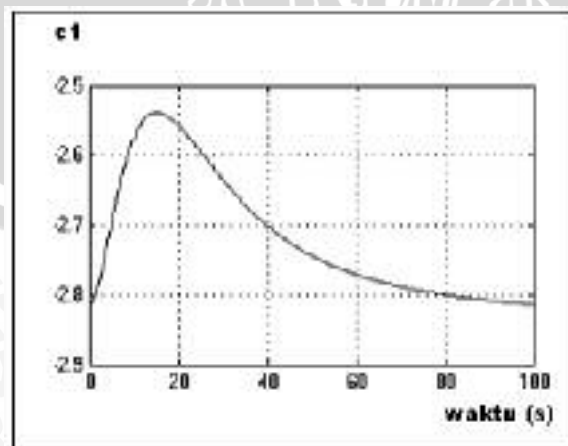
Dengan *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan  
 Dengan *settling time* 90 detik



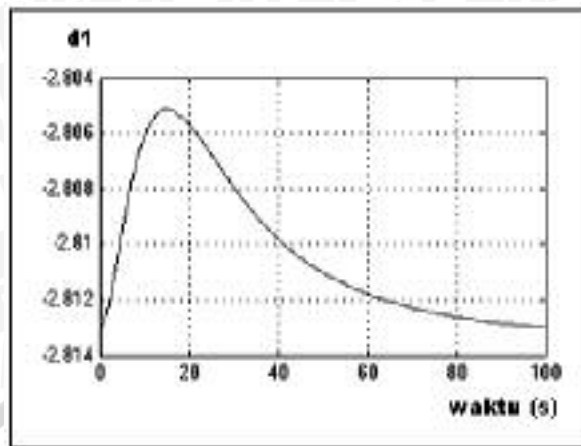
**Gambar 5.9** Respon sinyal kontrol pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



**Gambar 5.10** Respon parameter pengendali  $k_0$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



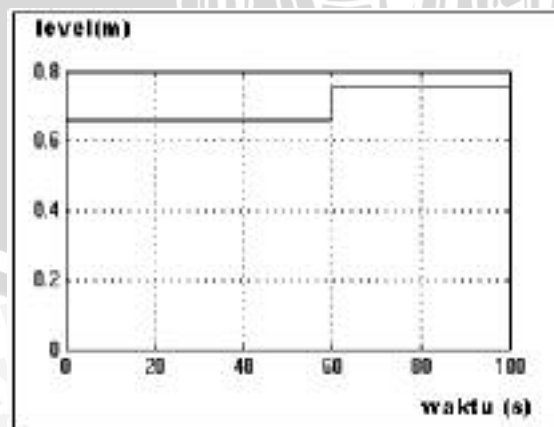
**Gambar 5.11** Respon parameter pengendali  $c_1$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan



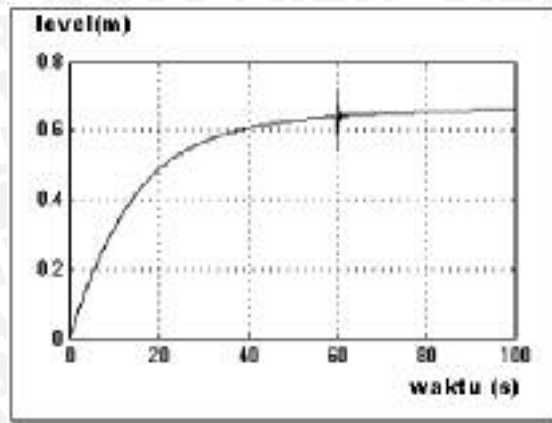
**Gambar 5.12** Respon parameter pengendali  $d1$  pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, tanpa gangguan

### 5.5 Simulasi Sistem Dengan *Tuning* Parameter Pengendali Dengan Gangguan.

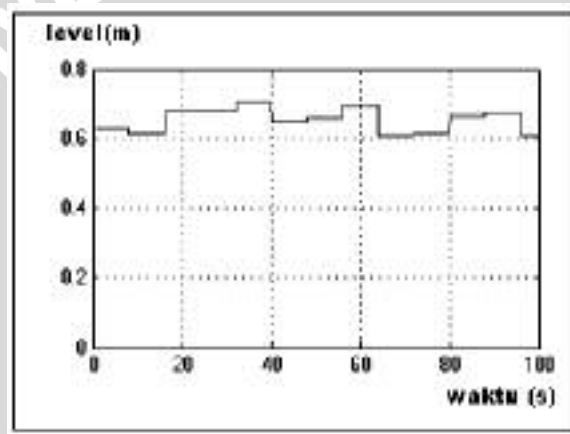
Hasil simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali dengan gangguan . *set point* sebesar 0.66 meter ditunjukkan pada gambar 5.13 sampai dengan gambar 5.20. Parameter dari  $k_0$  adalah 2.1, sedangkan parameter  $c_1$  sebesar -2.813 dan  $d_1$  sebesar -2.813. Simulasi gangguan yang pertama adalah pemberian gangguan berupa perubahan *level* sebesar 0.1 m pada detik ke 60 dari proses, untuk mengamati waktu pulih dari sistem. Sedangkan simulasi gangguan yang kedua adalah pemberian gangguan acak pada *level* air dengan kisaran  $\pm 0.05$  m, yang terjadi setiap 8 detik.



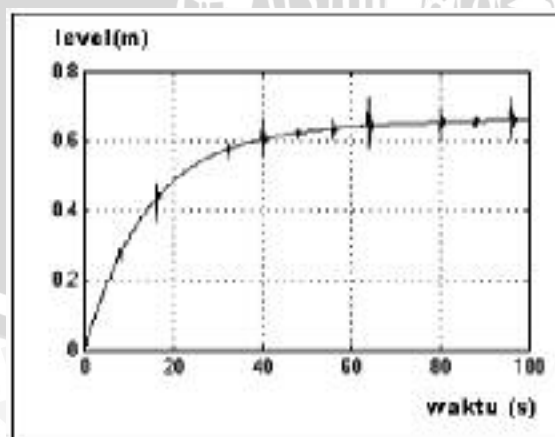
**Gambar 5.13** Respon masukan setelah di beri gangguan berupa kenaikan *level* pada detik ke 60 sebesar 0.1 m.



Gambar 5.14 Respon *plant* level (m) terhadap waktu(  $t$ ) dengan gangguan pada gambar 5.12

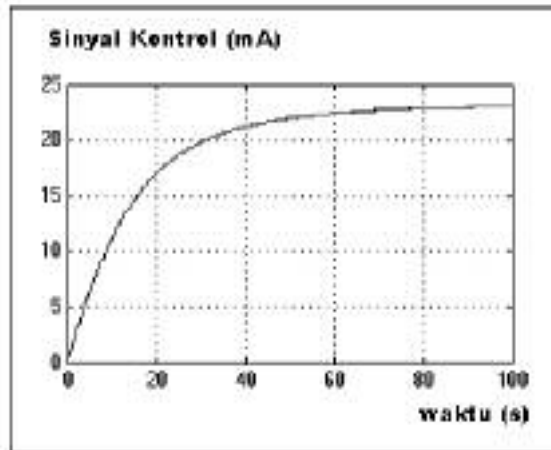


Gambar 5.15 Respon gangguan berupa sinyal acak pada level dengan kisaran 0.1 m setiap 8 detik.

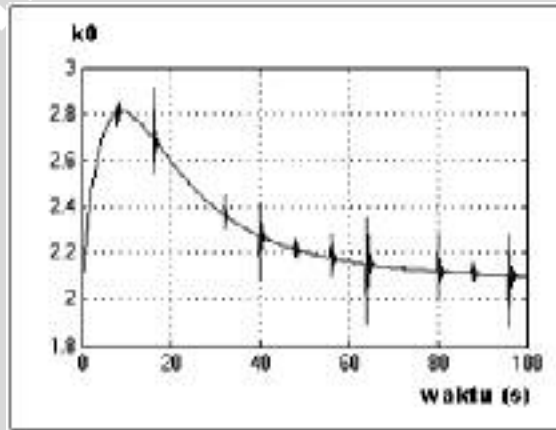


Gambar 5.16 Respon *plant*(m) terhadap waktu  $t$  pada pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter..

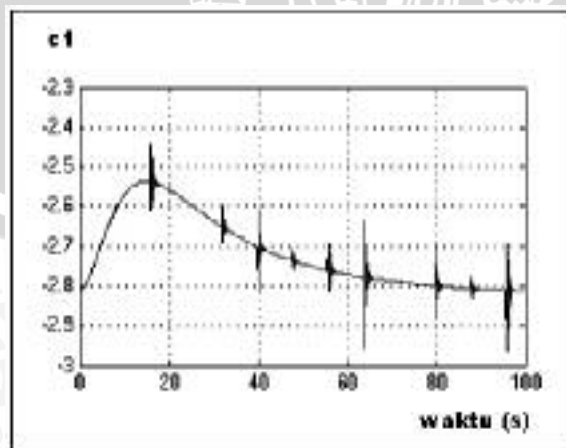
Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15



**Gambar 5.17** Respon sinyal kontrol (mA) terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15

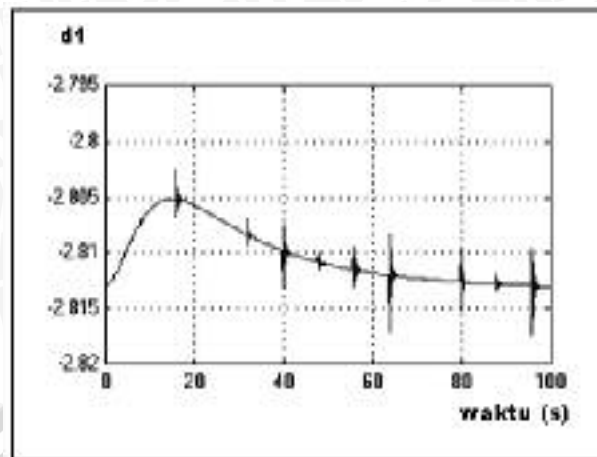


**Gambar 5.18** Respon parameter pengendali  $k_0$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter. Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15



**Gambar 5.19** Respon parameter pengendali  $c_1$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter.

Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15



**Gambar 5.20** Respon parameter pengendali  $d1$  terhadap waktu pada *steam drum* dengan *set point* sebesar 0.66 meter.

Dengan *tuning* parameter pengendali, dengan gangguan pada gambar 5.15

### 5.6 Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Tanpa Gangguan dan Tanpa Tuning Parameter Pengendali

Dari hasil pengujian dengan nilai  $k_0$  0,  $c_1$  0 dan  $d_1$  0 *error* antara *plant* dengan model referensi sama dengan 0.00005397 m pada detik ke 100 namun terjadi *delay* pada awal simulasi sebelum *plant* mencapai keadaan mantap, dengan *settling time* sebesar 70 detik.

### 5.7 Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Tanpa Gangguan Dengan Tuning Parameter Pengendali

Dari percobaan kedua pada gambar 5.8, nilai  $c_1$  dan  $d_1$  -2.813, sementara nilai  $k_0$  diubah menjadi 2.1 *error* antara *plant* dengan model referensi sama dengan 0.00001185 m *delay berkurang*, sistem lebih stabil tapi *settling time* menjadi lebih lama 10 detik menjadi 90 detik..

### 5.8 Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Dengan Gangguan Dengan Tuning Parameter Pengendali

Gangguan yang diberikan pada sistem dua macam. Gangguan yang pertama adalah pemberian gangguan berupa perubahan *level* menjadi 0.76 m pada detik ke 60 dari proses, untuk mengamati waktu pulih dari sistem. Sedangkan simulasi gangguan

yang kedua adalah pemberian gangguan acak pada *level* dengan kisaran 0.05 m, yang terjadi setiap 8 detik.

Pada pemberian gangguan yang pertama, dari Gambar 5.13 kontroler dapat mengatasi gangguan, dengan waktu pulih sebesar 0.07 detik. Sedangkan pada pemberian gangguan yang kedua, pada pengujian saat detik ke 100 *error steady state* sistem sebesar 0.006253%.





## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dengan *Model Reference Adaptive System* pada *Steam Drum Boiler* PT IPMOMI - PAITON, melalui pengujian dan analisis yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain simulasi pengendalian *Steam Drum Boiler* dengan MRAS pada kondisi tanpa gangguan dengan *tuning* parameter pengendali  $k_0 = 2.1$ ,  $c_1 = -2.813$ , dan  $d_1 = -2.813$  dapat meminimalkan *error steady state* sistem sampai mendekati 0 %, pada set point 0.66. Sedangkan *overshoot* tidak terjadi, dan *settling time* 90 detik.
2. Pada simulasi dengan gangguan, pengendali MRAS dapat mengatasi gangguan. Gangguan yang diberikan berupa pemberian sinyal *step* dan sinyal acak. Pada pemberian sinyal *step*, *level* dinaikkan dari 0.66 m menjadi 0.76 pada detik ke 60. Pengendali MRAS mampu mengatasi gangguan ini, dengan waktu pulih sebesar 0.07 detik. Pada gangguan berupa sinyal acak, *level* berubah secara acak dengan kisaran 0.05 m tiap 8 detik. Respon sistem pada detik ke 100 dari pengujian dengan gangguan acak ini didapatkan *error steady state* sistem sebesar 0,0061 %.

#### 6.2 Saran

1. Kontroler yang digunakan di PT. IPMOMI – Paiton (Unit 8) adalah jenis PID. MRAS dapat digunakan untuk men-*tuning* PID tersebut dengan baik, sehingga dengan MRAS juga dapat diterapkan pada kondisi riil.
2. Untuk pengembangan dan sebagai alternatif lain perancangan, dapat digunakan pengendali adaptif dengan skema *Gain Scheduling* maupun *Self Tuning Regulator*.

## Daftar Pustaka

- Anonim. 1997. ABB Boiler Operation.
- Coughanowr, D. 1991. Process System Analysis And control. USA : McGraw-Hill.Inc
- Dharma, I N. 2003. Analisis Penerapan Hybrid Fuzzy-PI Untuk Memperbaiki Pengendalian Level Air Dalam Steam Drum Boiler di PLTU Paiton Unit 7 & 8. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang : Jurusan Elektro FT Unibraw.
- El Wakil, M.M. 1985. Powerplant Technology. USA : McGraw-Hill, Inc.
- Gunterus, F. 1994. Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses. Jakarta : PT. Elex media Komputindo.
- Gopal, M. 1987. Modern Control System Theory. John Willey and Sons, Inc.
- Lammers, T. 1998. Steam Plant Operation. USA : McGraw-Hill, Inc.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. Teknik Kontrol Automatik Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. Teknik Kontrol Automatik Jilid II. Jakarta : Erlangga
- Philips, C. L. dan Harbor, R. D. 1996. Dasar-Dasar Sistem Kontrol Jilid Pertama, New Jersey : Prentice- Hall.
- Soloman, S. 1994. Sensors and Control Systems in Manufacturing. Singapore : McGraw-Hill, Inc.
- Shahian, B; Hassul, M. 1993. Control System Using Matlab. New Jersey : Prentice Hall. Inc.
- Astrom, K.J., Wittenmark, B., 1989, Adaptive Control, USA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Astrom, K.J., Wittenmark, B., 1993, Adaptive Control, USA: Addison-Wesley Publishing Company. \*e-book\*
- Butler, H., 1992, Model Reference Adaptive Control from Theory to Practice, UK: Prentice Hall, Inc.
- Ioannou, P.A., Sun, Jing, 2003, Robust Adaptive Control, US: University of Southern California. \*e-book\*
- Nagaratman, S., 1971, Fluid Machine and System, Mc.Graw. Hill. Bombay, New Delhi.
- Narendra, K. S., Annaswamy, N ., 1989, Stable Adaptive Control, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc.