

**PENGENDALIAN TEMPERATUR ALAT PENGERING GABAH
BERENERGI SEKAM DI JURUSAN MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM*(MRAS)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

**ASIH PALUPI
0001063237 – 63**

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

2007

**PENGENDALIAN TEMPERATUR ALAT PENGERING GABAH
BERENERGI SEKAM DI JURUSAN MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM*(MRAS)**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik



Disusun oleh :

ASIH PALUPI
0001063237 – 63

DOSEN PEMBIMBING:

Fitriana Suhartati, ST, MT.
NIP. 132 206 527

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

**PENGENDALIAN TEMPERATUR ALAT PENGERING GABAH
BERENERGI SEKAM DI JURUSAN MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA
DENGAN *MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM (MRAS)***

Disusun oleh :

ASIH PALUPI

0001063237 – 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal
7 Agustus 2007

DOSEN PENGUJI :

Dipl. Ing. Ir. Mochammad Rusli
NIP. 131 653 473

Ir. Purwanto, MT
NIP. 131 574 847

Ir. Erni Yudaningtyas, MT
NIP. 131 879 035

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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat, rahmat, dan karunia serta ridho-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul “Pengendalian Temperatur Alat Pengering Gabah Berenergi Sekam Di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Dengan Model Reference Adaptive System (MRAS)” dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan mencapai titik akhir penyelesaian tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu, Kakak-kakakku, Suami dan Anakku tersayang , adalah rahmat Allah SWT terbesar berada diantara mereka dengan dukungan dan kasih sayang mereka yang tidak dapat terbalaskan.
2. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom selaku Ketua Jurusan Elektro dan bapak Rudy Yuwono, ST, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Elektro.
3. Ibu Fitriana S, ST, MT dan Ibu Rusmi A, ST, MT sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dengan sabar sampai terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
5. Serta semua pihak yang tak dapat disebutkan satu persatu telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Wijaya Kurniawan. ST, Dominicus A C W. ST, Khaironi F. ST, Aprilia. ST, Hery S, MR. Whah, dan teman-teman 2000 yang membantu dan selalu memberi dukungan.

Sebuah penantian yang panjang telah berakhir, yang kemudian menjadi sebuah titik perjalanan yang baru. Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca tentang isi skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Malang, Agustus 2007

Penyusun



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
ABSTRAK	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Sistematika Pembahasan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengering Gabah	4
2.1.1. Proses Pengeringan.....	4
2.1.2. Gabah	5
2.1.3. Suhu Udara Pengeringan	5
2.1.4. Kelembaban	5
2.1.5. Aliran Udara	6
2.2. Mesin Pengering Gabah	6
2.3. Pengendali Adaptive	7
2.4. Model Reference Adaptive System (MRAS)	8
a. Plant	9
b. Model Reference.....	9
c. Pengendalian Adaktif.....	10
d. Persamaan Error.....	11
e. Hukum Adaktif	12
BAB III METODOLOGI	16
3.1. Alat Penelitian	16

3.2. Rancangan Penelitian.....	16
3.3. Cara Kerja Penelitian.....	17
3.4. Analisa.....	17

BAB IV PEMODELAN SISTEM DESAIN MRAS 18

4.1. Pemodelan Alat Pengering Gabah	18
4.2. Fungsi Alih Ruang Pembakaran.....	20
4.3. Fungsi Alih Pipa Penukar Kalor.....	21
4.4. Fungsi Alih Ruang Pengering.....	21
4.5. Fungsi Alih Katub Kendali.....	22
4.6. Fungsi Alir Saluran Udara Panas.....	23
4.7. System Loop Terbuka	23
4.8. Penentuan Model Referensi.....	25
4.9. Penentuan Parameter Pengendali.....	26
4.10. Persamaan Error	28
4.11. Penentuan Hukum Adaptasi	28
4.12. Skema Simulasi Pengering dengan MRAS pada Simulink Matlab 7.0.....	31

BAB V PERENCANAAN DAN SIMULASI PENGENDALIAN 33

5.1. Simulasi <i>Model Reference Adaptive Systems</i>	33
5.2. Hasil Simulasi Model Referensi.....	33
5.3. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan	34
5.4. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Tanpa Gangguan	35
5.5. Hasil dan Analisis Simulasi Sistem Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali dan Dengan Gangguan.....	37
5.6. Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Tanpa Gangguan dan Tanpa <i>Tuning</i> Parameter Pengendali.....	40
5.7. Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Tanpa Gangguan Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali.....	40
5.8. Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Dengan Gangguan Dengan <i>Tuning</i> Parameter Pengendali.....	41



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

42

6.1. Kesimpulan 42

6.2. Saran 42

DAFTAR PUSTAKA

43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Blok Diagram Sistem Pengeringan	6
Gambar 2.2.	Diagram Blok model Adaptif System	8
Gambar 2.3.	Diagram Kerja Sistem Plant	9
Gambar 2.4.	Struktur Dasar Pengendali Adaptif	10
Gambar 2.5.	Struktur Pengendali Dalam Bentuk Sederhana	11
Gambar 4.2.	Instalasi Alat Pengering	19
Gambar 4.3.	Alat Pengering Gabah	20
Gambar 4.4.	Blok Simulasi Alat Pengering Gabah Pada Simulink	23
Gambar 4.5.	Hasil Simulasi Sistem Open Loop Dengan Sinyal Masukan 4 mA	24
Gambar 4.6.	Hasil Simulasi Sistem Open Loop Dengan Sinyal Masukan 20 mA	24
Gambar 4.7.	Respon Model Referensi Terhadap Masukan Unit Step	25
Gambar 4.8.	Struktur Dasar Pengendali Adaptif	26
Gambar 4.9.	Diagram Blok Generator Sinyal 1 dan Parameter C1 pada F1	27
Gambar 4.10.	Diagram Blok Generator Sinyal 2 dan Parameter D1 pada F1	27
Gambar 4.11.	Simulasi Pengering Gabah Dengan MRAS Pada Simulink	32
Gambar 4.12.	Kontroler MRAS pada Simulink	32
Gambar 4.13.	Blok Simulasi Plant Pada Simulink	32
Gambar 5.1.	Respon Model Referensi Dengan Set Point Sebesar 45°C	33
Gambar 5.2.	Respon Plant Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	34
Gambar 5.3.	Sinyal Kontrol Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	34
Gambar 5.4.	Respon Plant Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	35
Gambar 5.5.	Sinyal Kontrol Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	35
Gambar 5.6.	Sinyal k0 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	36
Gambar 5.7.	Sinyal c1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	36

Gambar 5.8.	Sinyal d1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	36
Gambar 5.9.	Respon Plant Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	37
Gambar 5.10.	Sinyal Kontrol Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	37
Gambar 5.11.	Sinyal k0 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	38
Gambar 5.12.	Sinyal c1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	38
Gambar 5.13.	Sinyal d1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	38
Gambar 5.14.	Respon Gangguan Berupa Sinyal Acak Pada Reng 2°C 60 detik.....	39
Gambar 5.15.	Respon Plant Terhadap Waktu t Pada Set Point 5°C	39
Gambar 5.16.	Sinyal k0 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	39
Gambar 5.17.	Sinyal c1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	40
Gambar 5.18.	Sinyal d1 Dengan Set Point 45°C Dengan Suhu Ruangan Pada Heat Exchanger Sebesar 28°C	40



ABSTRAK

Asih Palupi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2007, **“Pengendalian Temperatur Alat Pengering Gabah Berenergi Sekam Di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Dengan Model Reference Adaptive System”**, Dosen Pembimbing: Fitriana Suhartati, ST, MT, dan Rusmi Ambarwati, ST, MT .

Kualitas pengeringan gabah sangat dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban relatif (RH) dan laju udara pengering. Temperatur merupakan faktor yang paling menentukan keberhasilan pada proses pengeringan karena besarnya temperatur udara pengering menjadi parameter kritis, yang akan berpengaruh pada kenampakan dan keseragaman produk yang dikeringkan serta lama pengeringan gabah untuk konsumsi, temperatur yang aman adalah 45°C-55°C.

Pengendalian temperatur pada alat pengering gabah dirancang menggunakan kontrol adaptif dengan metode *Model Reference Adaptive Systems* (MRAS), dengan langkah-langkah; penentuan plant, model referensi, persamaan error, hukum adaptasi, dan tuning parameter pengendali, yang disimulasikan menggunakan *program* MATLAB 7.0.4

Metode ini dapat meminimalkan error sampai dengan 0.0254%. Diperoleh settling time sebesar 250 detik.

Kata Kunci : Model Reference Adaptive Systems (MRAS)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keberhasilan penerapan metode intensifikasi dan ekstensifikasi dibidang pertanian menyebabkan produksi pertanian seperti padi melimpah. Masalah yang dihadapi adalah bagaimana mempertahankan mutu dan mengendalikan limbahnya. Untuk memanfaatkan limbah sekam tersebut maka dibuat alat pengering gabah yang menggunakan sekam sebagai bahan bakar / sumber energi dalam proses pengeringan. Sedangkan limbah karbon hasil pembakaran bisa langsung dibuang karena tidak terlalu mengganggu lingkungan atau dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain, seperti abu gosok, dan sebagainya.

Kualitas pengeringan sangat dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban relatif (RH) dan laju udara pengering. Temperatur merupakan faktor yang paling menentukan keberhasilan pada proses pengeringan karena besarnya temperatur udara pengering menjadi parameter kritis, yang akan berpengaruh pada kenampakan dan keseragaman produk yang dikeringkan serta lama pengeringan. Pada pengeringan gabah untuk konsumsi, temperatur yang aman adalah 45°C-55°C.

Semakin tinggi temperatur yang digunakan untuk pengeringan, makin tinggi energi yang digunakan dan semakin cepat laju pengeringan. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat dapat merusak bahan, yaitu menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan. Disamping itu, penggunaan temperatur yang terlalu tinggi dapat merusak daya fisiologi biji-bijian.

Mengingat bahwa temperatur udara pengering sulit dikontrol secara manual, maka perlu diterapkan pengendali temperatur pada alat pengering berenergi sekam. Salah satu metode kontrol yang dapat digunakan sebagai alternatif adalah *Model Reference Adaptive System* (MRAS).

Karena parameter suhu yang berubah-ubah, penyesuaian harus dilakukan sedemikian rupa sehingga keluaran sistem dapat terus dipertahankan sesuai dengan *set point* yang diinginkan. Pengendalian adaptif merupakan pengendali yang mampu untuk melakukan penyesuaian terhadap perubahan suhu tersebut. Sistem kontrol adaptif adalah sistem kontrol yang secara kontinu dan otomatis mengukur karakteristik

dinamis sistem, membandingkan dengan karakteristik dinamik yang kita inginkan, dan menggunakan selisihnya untuk mengubah parameter sistem yang dapat diatur atau membangkitkan sinyal penggerak dengan demikian kinerja optimalnya dapat dipertahankan tanpa menghiraukan perubahan lingkungan.

1.2 Batasan Masalah

Dalam penyusunan skripsi ini dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Temperatur yang digunakan pada proses pengeringan dibatasi sesuai dengan kondisi bahan (gabah), yaitu pada temperatur 45°-55°C.
2. Penurunan model sistem pengeringan gabah berdasarkan pada persamaan keseimbangan energi.
3. Laju udara pengering pada sistem alirannya konstan, yaitu $V_p=14,5$ m/s
4. Kerugian panas yang relatif kecil pada sistem dapat diabaikan.
5. Simulasi dilakukan dengan menggunakan paket program Matlab 6.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

- 1). Bagaimana merancang sebuah kontroler adaptif pada pengering gabah berenergi sekam?
- 2). Bagaimana mensimulasikan pengendalian *flow* pengering gabah berenergi sekam menggunakan kendali adaptif dengan metode MRAS?

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan yang akan dicapai dari pengerjaan tugas akhir ini adalah memberikan alternatif lain dengan metode MRAS pada sistem pengaturan temperatur ruang pengering agar sesuai dengan temperatur yang diinginkan.

1.5 Sistematika Pembahasan:

Skripsi ini akan disusun dalam enam bab, yaitu :

BAB I

Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, Metodologi Penelitian dan sistematika pembahasan..

BAB II

Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tentang Dasar Teori metode MRAS, serta tinjauan umum Plant dan prinsip dasar pengendalian temperatur pada sistem pengering gabah berenergi sekam.

BAB III

Metodologi Penelitian

Berisi mengenai metode penelitian yang dilakukan untuk mencapai sasaran penelitian.

BAB IV

Pemodelan Sistem

Membahas tentang pemodelan sistem pengendalian temperatur pada alat pengering gabah berenergi sekam dan perancangan pengendali MRAS

BAB V

Perencanaan dan Simulasi Pengendalian

Merupakan pembahasan inti dari tugas akhir yang akan membahas lebih lanjut dari metodologi yang dilakakukan Pada aakhir analisis akan dilakukan simulasi pengendalian untuk mengetahui respon keluaran sistem pengendali.

BAB VI

Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran untuk membangun lebih Injut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengering Gabah

2.1.1. Proses Pengeringan

Proses pengeringan merupakan suatu proses pemindahan atau pengeluaran kandungan air bahan sehingga mencapai kadar tertentu dengan tujuan memperlambat kecepatan kerusakan saat penyimpanan. Beberapa kendala yang berpengaruh diantaranya: (1) suhu, (2) kelembaban udara lingkungan, (3) kecepatan aliran udara pengering, (4) besarnya prosentase kandungan air yang ingin dijangkau, (5) energi pengeringan dan (6) kapasitas pengeringannya. (Suharto, 1991)

Jumlah air dalam suatu bahan biasanya dinyatakan dalam bentuk persen dan disebut kadar air bahan. Ada dua metode untuk menggambarkan kadar air suatu bahan, yaitu kadar air basis basah dan kadar air basis kering. (Hall, 1980).

Pada proses pengeringan, panas digunakan untuk menguapkan air dari biji-bijian dan menggerakkan udara untuk membawa air yang telah diuapkan. Laju pengeringan antara lain ditentukan oleh kadar air awal, suhu pengeringan, suhu udara sekitar dan kelembaban relatif (RH). Metode pengeringan, tipe pengering dan efisiensi dari peralatan juga mempengaruhi laju pengeringan. (Wimberley)

Tujuan dilakukannya pengeringan, terutama terhadap hasil agroindustri adalah untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas tertentu, dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti, sehingga dapat disimpan untuk waktu yang lama.

Proses pengeringan terbagi menjadi tiga kategori: (Earle, 1982)

- Pengering udara dan pengeringan yang berhubungan langsung di bawah tekanan atmosfer. Pada pengeringan ini panas dipindahkan menembus bahan, baik dari udara maupun dari permukaan yang dipanaskan.
- Pengeringan hampa udara. Pada pengeringan ini panas dipindahkan secara konduksi dan terjadi lebih cepat pada tekanan rendah.
- Pengeringan beku. Pada pengeringan ini uap disublimasikan keluar dari bahan pangan beku.

Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi penguapan dinyatakan sebagai berikut: (Earle, 1982)

- 1 Laju pemanasan waktu energi (panas) dipindahkan pada bahan
- 2 Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguap tiap kg air
- 3 Suhu maksimum pada bahan
- 4 Tekanan pada saat terjadi penguapan
- 5 Perubahan lain yang mungkin terjadi di dalam bahan selama proses penguapan berlangsung.

2.1.2 Gabah

Gabah adalah butiran dari biji tanaman padi yang sudah terlepas dari bulir-bulirnya. Gabah merupakan salah satu tahapan pengolahan padi untuk menjadi bahan pangan yang disebut beras. Gabah terdiri dari butiran padi yang masih terbungkus oleh kulit yang disebut sekam. Gabah pada umumnya memiliki kelembaban sekitar 24%. (www.gtz.de/gate/)

Kelembaban yang ditargetkan dari proses pengeringan adalah 14%. Kelembaban relatif ruang pengering pada saat kelembaban gabah 14%, tercapai keseimbangan dengan udara pengering yang memiliki kelembaban relatif 75%. Masa jenis gabah basah kurang lebih 625 kg/m³. (Wiranto, 1995:145)

2.1.3 Suhu Udara Pengeringan

Suhu udara berkaitan erat dengan tekanan uap air di udara. Pada alat pengering, terjadi proses pemanasan udara tanpa menambah atau mengurangi jumlah air yang dikandungnya. Pada pengeringan gabah untuk konsumsi, suhu udara yang aman adalah 45° C-55° C.

2.1.4 Kelembaban

Kelembaban menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan berat bahan. Ada dua metode untuk penentuan kadar air, yaitu *wet basis* (berdasarkan berat basah bahan) dan *dry basis* (berdasarkan berat kering bahan). Karena berat basah bahan selalu berubah-ubah, digunakan berat kering bahan. (Taib, 1988)

i) Kelembaban absolut

Kelembaban absolut adalah berat uap air tiap satuan volume udara (besarnya tidak dipengaruhi oleh berat udara). Kelembaban absolut biasa ditunjukkan

dengan gram air tiap meter kubik udara atmosfer pada temperatur yang spesifik.

(www.geog.ouc.bc.ca/physgeog/physgeoglos/a.html)

ii) Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah aktual uap air yang mampu ditampung oleh udara atmosfer dibanding jumlah yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi jenuh. Kelembaban relatif dipengaruhi temperatur dan tekanan atmosfer.

(www.geog.ouc.bc.ca/physgeog/physgeoglos/a.html)

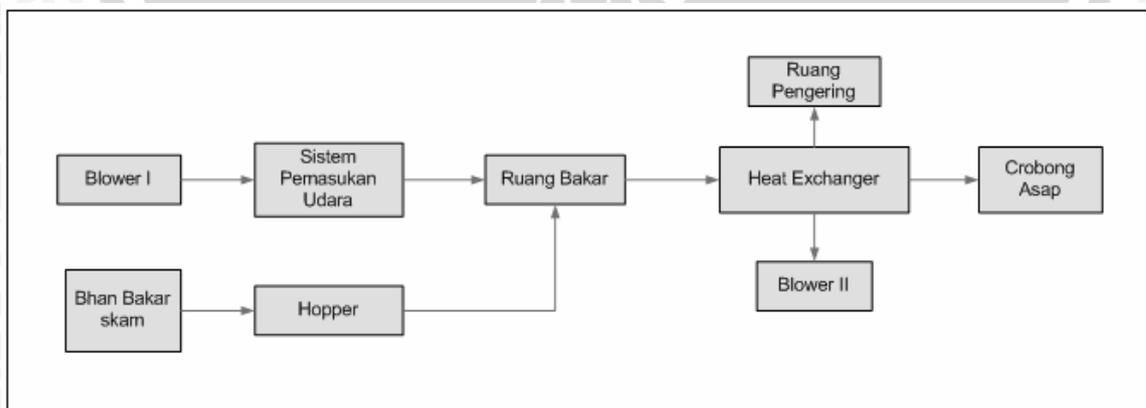
2.1.5 Aliran Udara

Aliran udara dalam proses pengeringan padi berfungsi untuk mengangkut uap air yang dilepaskan oleh bahan keudara akibat adanya pemanasan selama proses pengeringan. Karena air yang dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap, maka harus secepatnya dipindahkan dan dijauhkan dari bahan. Jika tidak, air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga memperlambat pengeluaran air selanjutnya.

Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Selain itu, juga berfungsi untuk menghantarkan panas dari *heater* keruang plenum, kemudian dari plenum ke bahan. Jadi besar kecilnya laju aliran udara akan mempengaruhi kecepatan laju pengeringan pada padi. Pergerakan ini dibantu oleh sebuah *blower*. (Brooker et.al,1981)

2.2 Mesin Pengering Gabah

Prinsip Kerja Mesin Pengering Gabah



Gambar 2.1. Blok Diagram Sistem Pengeringan

Blower I berfungsi sebagai pemasok udara pembakaran udara atau fluidisasi keruang bakar. Udara yang dihasilkan oleh *blower* I kemudian dialirkan oleh system masukan udara ke ruang bakar. Sebelum bahan bakar sekam dimasukkan ke ruang bakar, terlebih dahulu dimasukkan arang yang berfungsi sebagai katalisator. Arang tersebut ditaruh di bed dalam ruang bakar. Setelah arang membara, *blower* I dihidupkan, sehingga udara pembakaran / fluidisasi mengalir ke ruang bakar. Kemudian bahan bakar sekam dimasukkan keruang bakar melalui *hooper* secara kontinyu agar pembakaran yang terjadi stabil.

Setelah pembakaran bahan bakar terjadi, *blower* II yang berfungsi sebagai fluida kerja dihidupkan dan udara mulai mengalir melewati *heat exchanger*. Di dalam *heat exchanger* fluida kerja tersebut mengalami proses perpindahan panas dari gas panas hasil pembakaran. Akibatnya temperatur fluida kerja meningkat lalu dialirkan keruang pengering untuk proses pengeringan. Sedangkan hasil gas pembakaran yang telah melewati *heat exchanger* akan dibuang ke udara melalui cerobong asap.

2.3. Pengendali Adaptif

Dalam bahasa sehari-hari, adaptasi berarti mengubah suatu perilaku untuk menyesuaikan diri dengan keadaan yang baru. Sedangkan pengendali adaptif dapat diartikan sebagai pengendali yang dapat memodifikasi perilakunya dalam merespon perubahan dinamika proses dan karakter 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)

Pada pengendalian adaptif metode *Gain Scheduling*, diperlukan 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.

Sedangkan 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

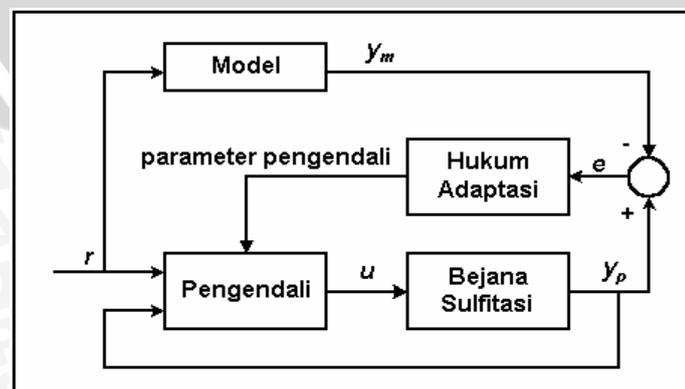
digunakan untuk mengubah parameter pengendali. Sedangkan proses adaptasi dalam pengendalian adaptif metode *Model References Adaptive Systems* adalah proses adaptasi langsung tanpa terlebih dahulu melakukan estimasi parameter *plant*. Jadi proses adaptasi pada pengendalian metode *Self Tuning Controller* 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*.

2.4. 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 2.2.

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 di antara 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.



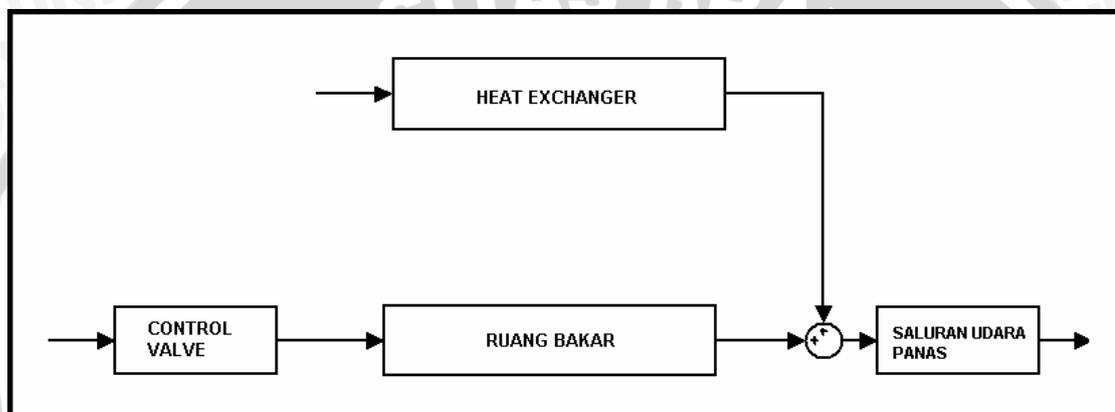
Gambar 2.2 . Diagram Blok *Model Reference Adaptive System*
(Sumber : Astrom and Wittenmark, 1989 : 185)

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

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



Gambar 2.3. Diagram Kerja Sistem Plant

b. Model Referensi

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

$$W_m(s) = \frac{Y_m(s)}{r(s)} = k_m \frac{\beta_m(s)}{\alpha_m(s)} \quad (2-2)$$

$\alpha_m(s)$ dan $\beta_m(s)$ adalah polinomial stabil, yaitu polinomial yang semua akarnya berada pada setengah sebelah kiri bidang s , sedangkan k_m adalah konstanta. $\alpha_m(s)$ adalah polinomial dengan derajat n dan $\beta_m(s)$ adalah polinomial dengan derajat m , dengan $m \leq n$.

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* atau $n-m$ (Butler, 1992: 54).

c. Pengendali Adaptif

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

Vektor sinyal kendali ω^T terdiri atas sinyal masukan r dan vektor sinyal $\omega^{(1)}$ dan $\omega^{(2)}$, sehingga dapat dituliskan vektor sinyal sebagai berikut :

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

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

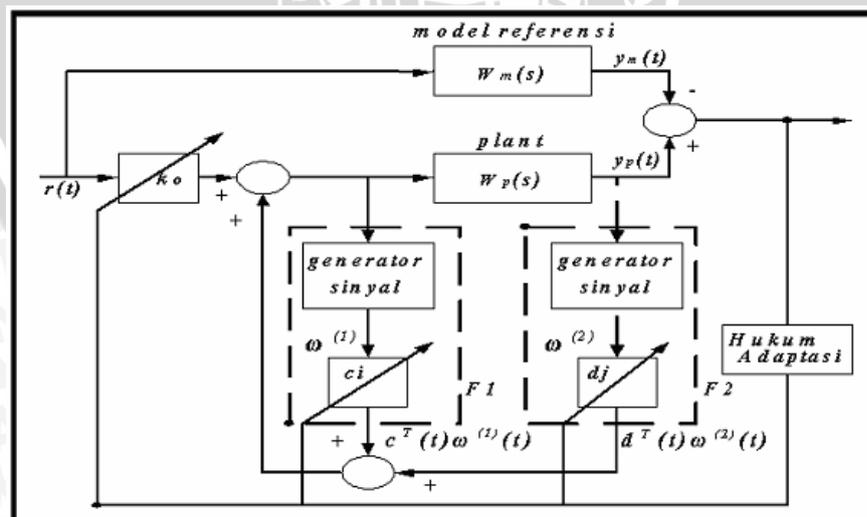
$$\begin{aligned} \theta^T &= [k_o(t), c_1(t), \dots, c_n(t), d_1(t), \dots, d_n(t)] \\ \theta^T &= [k_o(t), c^T(t), d^T(t)] \end{aligned} \quad (2-4)$$

Sinyal kendali u yang dihasilkan oleh pengendali adalah:

$$u(t) = \theta^T(t) \cdot \omega(t) \quad (2-5)$$

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

Sinyal kendali u ini digunakan sebagai masukan bagi *plant*.



Gambar 2.4 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 :

$$W_1 = \frac{C(s)}{N(s)}, \text{ dengan } C = c_n s^{n-1} + \dots + c_2 s + c_1$$

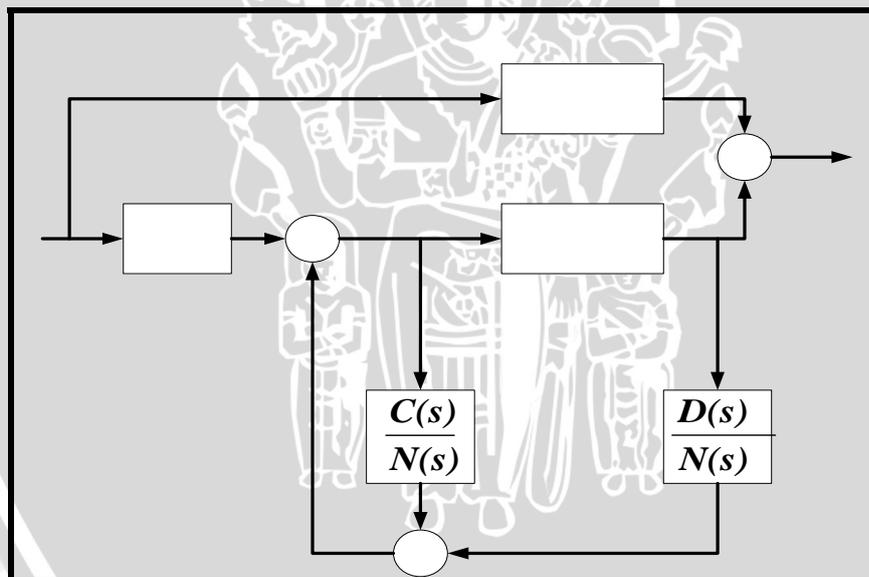
$$N = s^{n-1} + n_{n-1} s^{n-2} + \dots + n_1$$

$$W_2 = \frac{D(s)}{N(s)}, \text{ dengan } D = d_n s^{n-1} + \dots + d_2 s + d_1 \quad (2-6)$$

Polinomial $N(s)$ pada generator sinyal bantu adalah *zero* 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 $n-2$.

Struktur pengendali adaptif dapat digambarkan dalam bentuk sederhana seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2.

Sinyal kendali u yang dihasilkan pengendali digunakan sebagai masukan bagi *plant*, sehingga keluaran *plant* sesuai dengan keluaran model referensi.



Gambar 2.5 Struktur pengendali dalam bentuk sederhana
(Sumber : Sastry and Bodson, 1993 : 104)

d. Persamaan Error

Parameter pengendali θ dalam MRAS adalah :

$$\theta(t) = \theta^* + \phi(t) \quad (\text{Butler, 1997 :54})$$

dengan θ^* adalah vektor konstan yang menyatakan parameter pengendali pada saat fungsi alih *plant* dan pengendalinya sesuai dengan fungsi alih model referensi. $\phi(t)$

adalah parameter *error*. θ^{*T} adalah parameter pengendali yang akan disesuaikan menjadi θ^* . θ^{*T} dapat dinyatakan sebagai :

$$\begin{aligned}\theta^{*T} &= [k_o^*(t), c_1^*(t), \dots, c_n^*(t), d_1^*(t), \dots, d_n^*(t)] \\ \theta^{*T} &= [k_o^*, c^{*T}, d^{*T}]\end{aligned}\quad (2-7)$$

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

keluaran model referensi.

Persamaan (2-7) disubstitusikan ke dalam Persamaan (2-5) membentuk persamaan sinyal kendali u yang terdiri dari nilai parameter θ^{*T} dan parameter *error* ϕ , yang dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}u(t) &= \theta^{*T}(t)\omega(t) \\ u(t) &= k_o^*r(t) + c^{*T}\omega^{(1)}(t) + d^{*T}\omega^{(2)}(t) + \phi^T(t)\omega(t)\end{aligned}\quad (2-8)$$

e. 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,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (2-9)$$

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 (Sasthy dan Bodson, 1993 : 8).

Untuk mencapai kestabilan, fungsi *Lyapunov* $V(x)$ harus mempunyai 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* ϕ , yang dituliskan sebagai (Butler, 1997 : 12)

$$V = e^T P e + \phi^T \xi \phi \quad (2-10)$$

Dengan e merupakan sinyal *error*, dan ϕ adalah parameter *error*. $\phi = \theta - \theta^*$. Sedangkan ξ adalah penguatan adaptasi yang memenuhi syarat definit positif, matriks ditentukan sebagai matriks diagonal sehingga ξ 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 $\dot{V} = -e^T Q e + \{\text{beberapa persamaan yang mengandung } \phi\}$ (Butler, 1997 : 13). Persamaan yang mengandung ϕ 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 .

$$A^T P + P A = -Q \quad (2-11)$$

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

$$V = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \quad (2-12)$$

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

$$V = e^T (A_m^T P + P A_m) e + 2(\phi^T \omega) b_m^T P e + 2\phi^T \xi^{-1} \phi \quad (2-13)$$

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

$$A_m^T P + P A_m = -Q \quad (2-14)$$

$$b_m^T P e = e_1 \quad (2-15)$$

Dengan demikian maka persamaan (2-13) dituliskan lagi menjadi:

$$V = -e^T Q e + 2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \phi \quad (2-16)$$

Untuk memastikan bahwa V adalah definit negatif, maka dua suku terakhir pada persamaan (2-16) dibuat sama dengan nol, sehingga:

$$\begin{aligned} 2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \phi &= 0 \\ (\phi^T \omega) e_1 &= -\phi^T \xi^{-1} \phi \end{aligned} \quad (2-17)$$

Dengan demikian, diperoleh hukum adaptasi :

$$\theta = \phi = -\xi \omega e_1 \quad (2-18)$$

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

$$\theta(t) = \theta(t-1) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (2-19)$$

Sehingga,

$$\dot{\theta}(t) = \theta(t) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (2-20)$$

Dengan penguatan adaptasi yang telah ditentukan dan parameter pengendali yang telah ditentukan,

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

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

maka persamaan hukum adaptasi dinyatakan sebagai :

$$\dot{k}_0(t) = k_0(t) - \xi r(t) e_1(t) \quad (2-21)$$

$$\dot{c}_1(t) = c_1(t) - \xi \omega^{(1)}(t) e_1(t) \quad (2-22)$$

$$\dot{d}_1(t) = d_1(t) - \xi \omega^{(2)}(t) e_1(t) \quad (2-23)$$



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam skripsi ini dibahas mengenai simulasi pengendalian temperatur pada sistem pengeringan gabah dengan menggunakan MRAS (*Model Reference Adaptive System*). Sistem disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak Simulink Matlab untuk melihat performansi sistem pengeringan gabah.

3.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

1. Seperangkat *personal computer* dengan prosesor AMD Sempron 2200+ dan sistem operasi Windows XP.
2. Program MATLAB versi 7.0.

3.2 Rancangan Penelitian

Untuk memudahkan dalam penyusunan tugas akhir ini, tahap pengerjaan dibagi menjadi :

1. Pengumpulan data

Pengumpulan data, yaitu dilakukan Data diambil di Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Data yang diambil berupa beda tekanan udara dalam pipa (Δh), temperatur masuk *heat exchanger* ($T_{in_{he}}$) temperatur keluar *heat exchanger* ($T_{out_{he}}$), temperatur lingkungan (T_l), dan temperatur ruang pengering (T_{rp}).

2. Pemodelan matematika sistem

Pemodelan yang dilakukan meliputi:

- a. Penentuan fungsi alih dari *plant*.
- b. Penentuan model referensi.
- c. Penentuan persamaan *error*.
- d. Penentuan hukum adaptasi.
- e. Penentuan dan tuning parameter pengendali.

3. Simulasi model matematik

Simulasi model matematik dilakukan dengan menggunakan fasilitas-fasilitas yang ada pada *software* MATLAB versi 7.0.

4. Analisa respon sistem dinamik

Analisis respon sistem dilakukan dengan mengamati respon sistem pengendalian menggunakan metode MRAS.

3.3. Cara Kerja Penelitian

Dalam menjawab masalah-masalah dalam suatu penelitian dan pembuktian tentang ditolak dan diterimanya hipotesis yang diajukan, diperlukan cara-cara ilmiah berupa ketentuan-ketentuan yang sudah baku dan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya. Berdasarkan hal tersebut, cara kerja penelitian ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Studi literatur, yaitu membaca, mempelajari dan memahami literatur tentang sistem pengendali MRAS dan plant yaitu sistem pengering gabah serta literatur lain yang erat kaitannya dan menunjang perancangan sistem tersebut.
2. Merancang sistem pengering gabah dengan pengendali MRAS.
3. Membuat simulasi program dalam MATLAB dan menganalisa hasil simulasinya.

3.4 Analisa

Proses analisa dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

1. Penurunan model matematis

Pada tahap ini dilakukan perhitungan dan penurunan model matematis.

2. Analisa Pemodelan

Analisis pemodelan dimaksudkan untuk menjelaskan metode-metode yang digunakan dalam perancangan sistem pengering gabah.

3. Visualisasi

Kedua proses tadi berguna untuk mengetahui perilaku dari sistem, yang diperoleh dalam bentuk respon terhadap masukan dengan melihat tampilan grafik setelah melakukan simulasi pemodelan matematis pada *software* MATLAB 7.0.

BAB IV

PEMODELAN SISTEM DAN DESAIN MRAS

Penyusunan model dan simulasi merupakan bagian penting dari disain suatu proses. Pemodelan dimaksudkan untuk meniru dari suatu sistem sebenarnya. Model yang dibuat biasanya dalam bentuk persamaan matematika. Simulasi model dilakukan karena diperlukan biaya yang terlalu besar untuk membuat sistem nyata. Tujuan perancangan dalam skripsi ini adalah untuk melihat performansi sistem pengendalian temperatur alat pengering gabah berenergi sekam dengan menggunakan *Model Reference Adaptive System* berdasarkan hasil simulasi software Matlab versi 6.5. Kriteria performansi yang dianalisis pada perancangan ini adalah *time settling (ts)*, *time rise (tr)*, *maximum overshoot (Mp)*, dan *error steady state (ess)*.

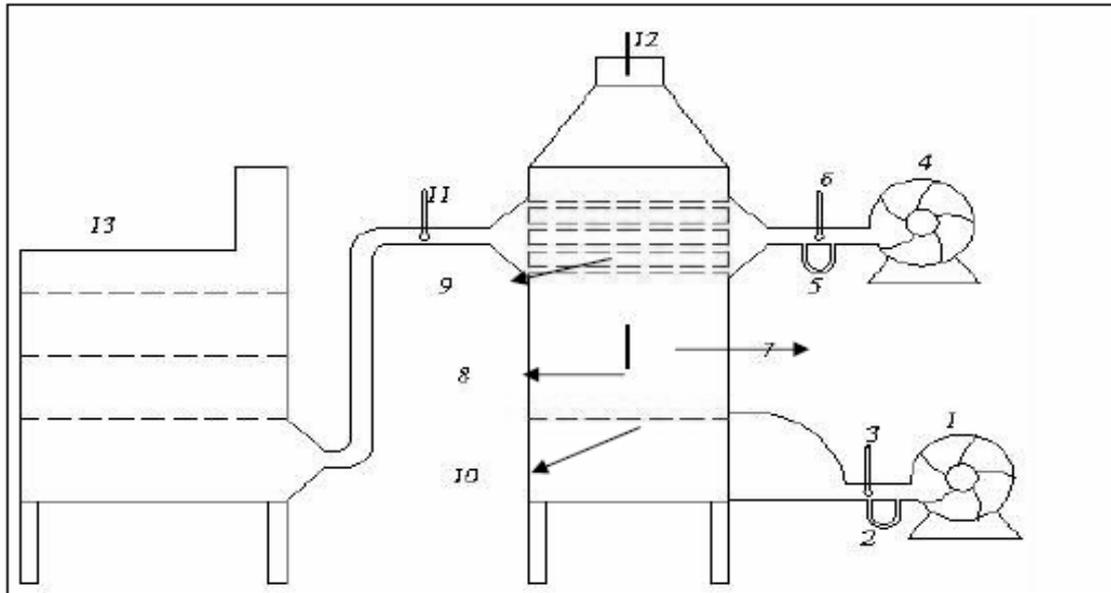
4.1. Pemodelan Alat Pengering Gabah

Pada sistem pengeringan gabah ini, pemodelan sistem pengeringan disusun berdasarkan keseimbangan energi. Simulasi model keseimbangan energi digunakan untuk menghitung perubahan temperatur ruang pengering dan pengendalian temperatur ruang pengering. Keseimbangan energi mengikuti kaidah berikut, yaitu jumlah energi yang masuk sama dengan jumlah energi yang keluar.

Dalam penyusunan model keseimbangan energi digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Laju aliran udara pada sistem alirannya dianggap tetap, yaitu $V_p = 14,5$ m/s
2. Panas yang diterima blower dianggap tidak ada, karena nilainya relatif konstan dan sangat kecil
3. Kerugian panas yang relatif kecil pada sistem dapat diabaikan.

Instalasi alat pengering gabah secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.2.

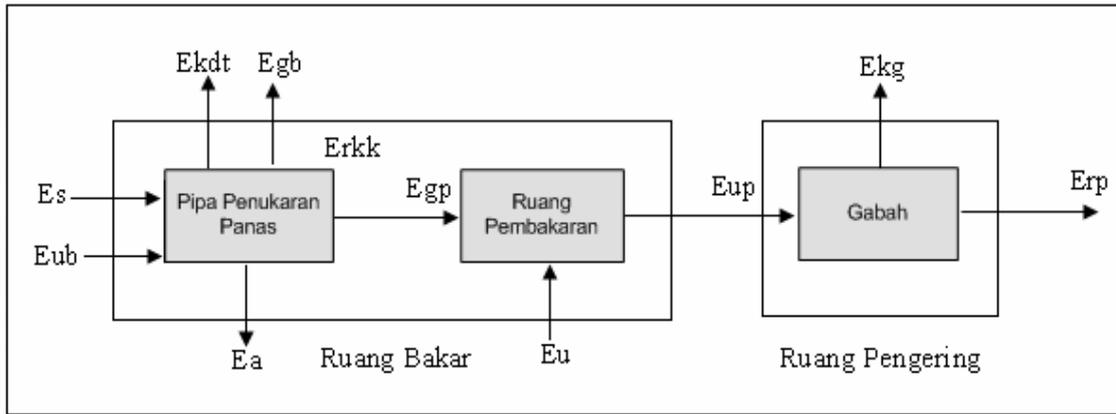


Gambar 4.1 Instalasi Alat Pengering
Sumber : Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif
 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Keterangan :

- | | |
|--|---|
| 1. <i>Blower</i> udara pembakaran | 8. Ruang bakar |
| 2. Pipa pitot | 9. Pipa penukar kalor / <i>heat exchanger</i> |
| 3. Termometer udara masuk ruang bakar | 10. Bed |
| 4. <i>Blower</i> udara masuk <i>heat exchanger</i> | 11. Termometer udara keluar <i>heat exchanger</i> |
| 5. Pipa pitot | 12. Termokopel cerobong |
| 6. termometer udara masuk <i>heat exchanger</i> | 13. Ruang pengering |
| 7. Termokopel ruang bakar | |

Dalam skripsi ini, sistem alat pengering gabah dibagi menjadi 3 sub-sistem, yaitu : (1) ruang pembakaran, (2) pipa penukar kalor, dan (3) ruang pengering. Skema proses pengeringan dan persamaan keseimbangan energi yang terjadi pada masing-masing sub-sistem pengeringan gabah adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3. Alat Pengering Gabah

- | | | | |
|------|--------------------------------------|-----|------------------------------------|
| Es | : Energi sekam | Egp | : Energi gas panas |
| Eub | : Energi udara pembakaran | Eu | : Energi udar masuk heat exchanger |
| Ekdt | : Energi keluar dinding tungku | Eup | : Energi udara pengeringan |
| Egb | : Energi gas buang | Ekg | : Energi keluar gabah |
| Ea | : Energi abu sekam | Erp | : Energi ruang pengering |
| Erkk | : Energi radiasi, konveksi, konduksi | | |

4.2. Fungsi Alih Ruang Pembakaran

Aliran energi yang terjadi adalah sebagai berikutnya :

$$Es + Eub = Egb + Ekdt + Ea + Erkk + Egp$$

$$Es = Eh + Egp \tag{4.1}$$

Sedangkan efisiensi termal tungku dapat dinyatakan

$$\eta_t = \frac{Es - Eh}{Es} = \frac{Egp}{Es} = \frac{Egp}{m_s \cdot LHV} \tag{4.2}$$

$$Egp = \eta_t \cdot m_s \cdot LHV$$

Keterangan :

- η_t =efisiensi termal tungku (%)
- m_s =massa alir bahan bakar sekam ($kg \cdot s^{-1}$)
- LHV =Low Heat Value ($kkal \cdot kg^{-1}$)

4.3. Fungsi Alih Pipa Penukar Kalor

Aliran energi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$E_{gb} + E_u = E_{up} \quad (4.3)$$

Bila persamaan (4.2) disubstitusikan ke persamaan (4.3), maka didapat:

$$E_{rp} = \eta_t \cdot m_s \cdot LHV + E_u = E_{up} \quad (4.4)$$

4.4. Fungsi Alih Ruang Pengering

Aliran energi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$E_{rp} = E_{up} - E_{kg} \quad (4.5)$$

Bila persamaan (4.4) disubstitusikan ke persamaan (4.5), maka didapat :

$$E_{rp} = \eta_t \cdot m_s \cdot LHV + E_u - E_{kg}$$

Dimana :

$$E_{rp} = (m_{he} \cdot C_p)_{rp} \cdot \frac{dT_{rp}}{dt}$$

$$E_u = v_p \cdot C_{p_{he}} \cdot T_l$$

$$E_{kg} = v_p \cdot C_{p_{rp}} \cdot T_{rp}$$

Sehingga didapatkan persamaan keseimbangan energi alat pengering gabah sebagai berikut:

$$E_{rp} = \eta_t \cdot m_s \cdot LHV + E_u - E_{kg}$$

$$(m_{he} \cdot C_p)_{rp} \cdot \frac{dT_{rp}}{dt} = \eta_t \cdot m_s \cdot LHV + v_p \cdot C_{p_{he}} \cdot T_l - v_p \cdot C_{p_{he}} \cdot T_l(s) \quad (4.6)$$

Dengan menggunakan transformasi Laplace, maka persamaan (4.6) menjadi :

$$\left[(m_{he} \cdot C_p)_{rp} s + v_p \cdot C_{p_{rp}} \right] Trp(s) = \eta_t \cdot LHV \cdot M(s) + v_p \cdot C_{p_{he}} \cdot Tl(s) \quad (4.7)$$

Dengan menganggap Trp(s) sebagai keluaran dan M(s) sebagai masukan, maka diperoleh fungsi alih alat pengering :

$$\frac{Trp(s)}{M(s)} = \frac{\eta_t \cdot LHV}{(m_{he} \cdot C_p)_{rp} s + v_p \cdot C_{p_{rp}}}$$

$$\frac{Trp(s)}{Tl(s)} = \frac{v_p \cdot C_{p_{he}}}{(m_{he} \cdot C_p)_{rp} s + v_p \cdot C_{p_{rp}}} \quad (4.8)$$

Keterangan :

Cp_{rp} = Kalor jenis udara ruang pengering ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$)

Cp_{he} = Kalor jenis udara *heat exchanger* ($\text{kJ.Kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$)

V_p = Kecepatan udara masuk *heat exchanger* (m.s^{-1})

Tl = Temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)

T_{rp} = Temperatur ruang pengering ($^{\circ}\text{C}$)

m_{he} = Massa alir udara *heat exchanger* (kg.s^{-1})

4.5. Fungsi Alih Katub Kendali

Control valve berfungsi untuk mengubah variabel yang dikendalikan menjadi sinyal keluaran aktuator yaitu suatu gerakan mekanik dalam *valve* yang akan mengatur laju aliran fluida dan sekaligus merupakan suatu elemen yang berfungsi untuk memanipulasi variabel proses.

Fungsi alih katub kendali sebagai fungsi alih sistem orde satu yaitu :

$$\frac{X(s)}{U_u(S)} = \frac{K_{cv}}{T_{cv}s + 1} \quad (4.9)$$

Keterangan :

$X(s)$ = Posisi katub kendali

$U_u(s)$ = Besar arus yang masuk katub kendali

K_{cv} = Gain katub kendali

T_{cv} = Konstanta dari katub kendali

Nilai gain katub kendali diperoleh dari :

$$K_{cv} = \frac{\Delta x}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta i} = \frac{3}{0,12} \cdot \frac{0,12}{16} = 0,1875 \text{ inch/mA} \quad (4.10)$$

Keterangan :

Δx = Posisi katub kendali maksimum

Δp = Selisih tekanan masukan dan keluaran

Δi = Selisih arus masukan dan keluaran

Dengan mengambil nilai konstanta waktu pada spesifikasi teknis, maka fungsi alih keluaran untuk katub kendali adalah sebagai berikut :

$$\frac{X(s)}{U_u(s)} = \frac{0,1875}{41,65s + 1} \quad (4.11)$$

4.6. Fungsi Alir Saluran Udara Panas

Letak ruang pembakaran dengan ruang pengering dapat saling berjauhan, akibatnya terjadi penundaan pengukuran temperatur atau aksi kontrol selama t detik. Jika t sangat kecil, maka fungsi alih saluran udara panas adalah :

$$G(s) = \frac{1}{ts + 1} \quad (4.12)$$

Diman nilai t didapat dari

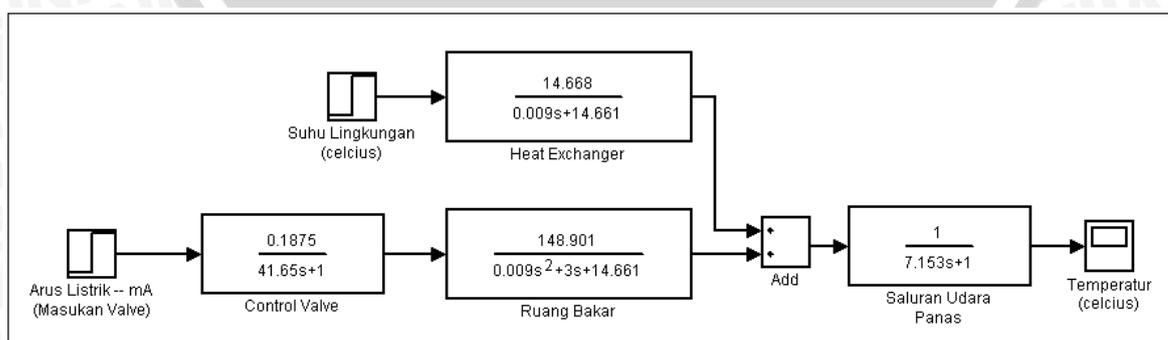
$$t = \frac{s}{v} \text{ dengan nilai } v = \frac{m_{he}}{\rho \cdot A}$$

Keterangan :

- t = Waktu yang dibutuhkan panas untuk merambat (s)
- s = Panjang saluran dari ruang bakar sampai ruang pengering (m)
- v = Kecepatan udara yang mengalir di dalam saluran (ms^{-1})
- m_{he} = Massa alir udara heat exchanger ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)
- ρ = Massa jenis fluida yang dialirkan ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
- A = Luas penampang saluran (m^2)

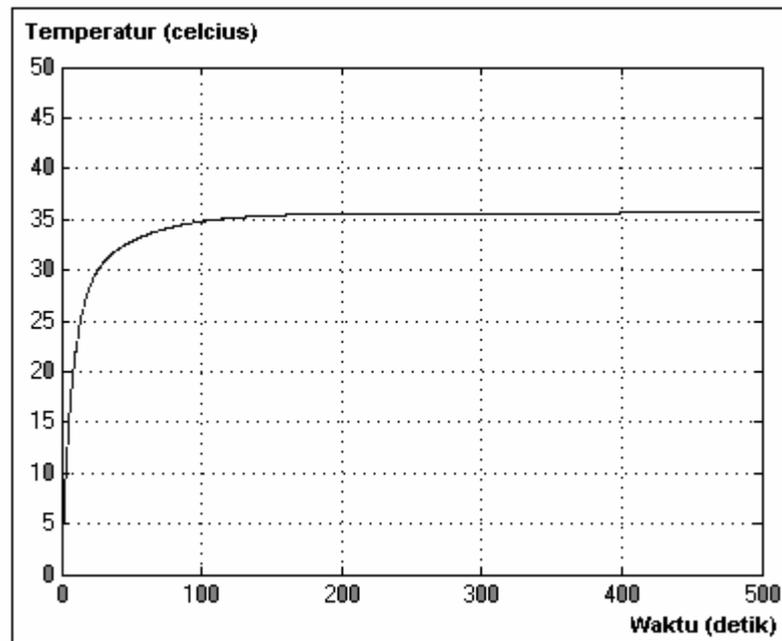
4.7. Sistem Loop Terbuka

Dari persamaan di atas, diperoleh blok simulasi sistem alat pengering gabah pada simulink sebagai berikut :

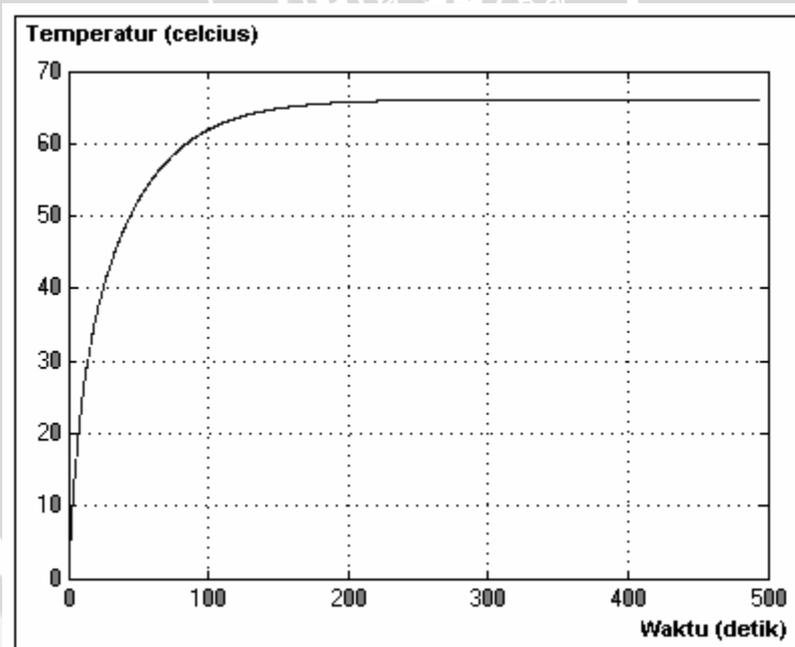


Gambar 4.3 Blok simulasi alat pengering gabah pada simulink
Sumber : Perancangan

Respon keluaran sistem *open loop* tanpa menggunakan pengendali adalah :



Gambar 4.4 Hasil simulasi sistem *open loop* dengan sinyal masukan 4 mA
Sumber : Perancangan



Gambar 4.5 Hasil simulasi sistem *open loop* dengan sinyal masukan 20 mA
Sumber : Perancangan

Sesuai dengan Gambar 4.4, jika sistem diberikan sinyal masukan berupa arus listrik 4 mA, sistem akan mencapai keadaan mantap pada temperatur 35,63°C dengan *settling time*, t_s sebesar 400 detik, dan lonjakan maksimum / *maximum overshoot*, M_p sebesar 0

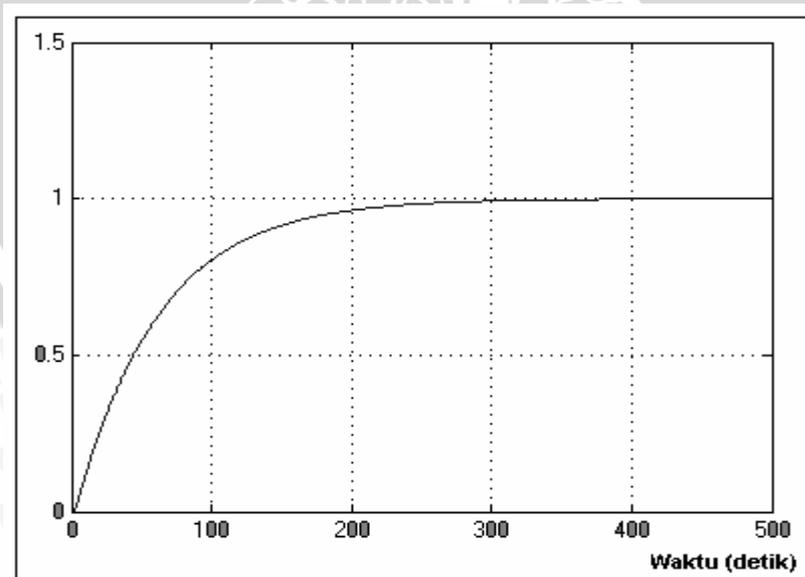
%. Sedangkan jika sistem diberikan sinyal masukan berupa arus listrik 20 mA (pada gambar 4.5), sistem akan mencapai keadaan mantap pada temperatur 66,1°C dengan *settling time*, t_s sebesar 219 detik, dan lonjakan maksimum / *maximum overshoot*, M_p sebesar 0 %. Pengujian open loop dilakukan pada sinyal 4 mA dan 20 mA, yaitu pada daerah kerja *valve*. Sehingga, daerah kerja dari sistem yaitu pada 35,63°C - 66,1°C.

4.8. Penentuan Model Referensi

Model referensi ditentukan dengan mempertimbangkan derajat relatif *plant*. Derajat relatif model referensi lebih besar atau sama dengan derajat relatif *plant*. Derajat relatif adalah selisih antara derajat tertinggi polinomial pada *pole* dengan derajat tertinggi polinomial pada *zero*. Penentuan fungsi alih model referensi pada simulasi ini didapatkan dengan syarat *settling time* model referensi tidak lebih cepat daripada *settling time* respon *open loop* sistem tanpa pengendali. Dari gambar 4.5, *settling time* respon *open loop* sistem tanpa pengendali adalah 217 detik. Model referensi yang digunakan adalah :

$$W_m(s) = \frac{0.0167s + 0.3333}{s^5 + 14.0167s^4 + 45.233s^3 + 52.75s^2 + 20.8667s + 0.3333} \quad (4.13)$$

Respon transien dari model referensi terhadap masukan unit step adalah



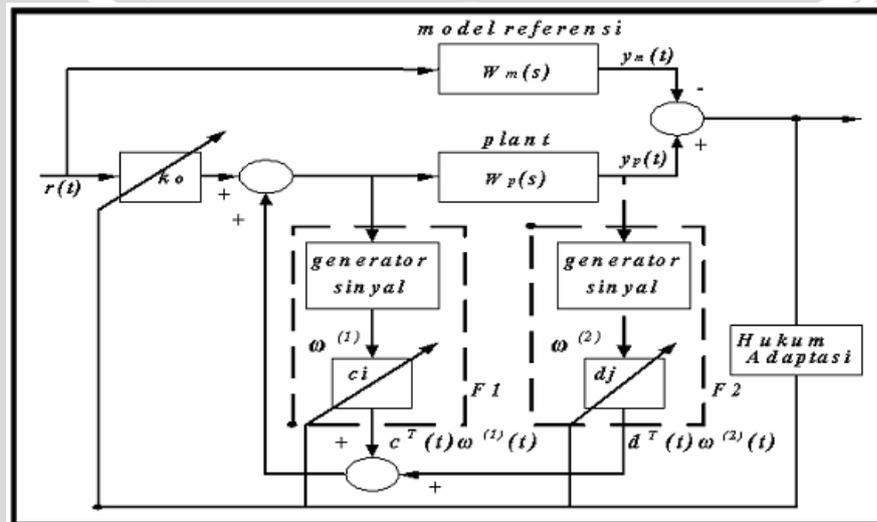
Gambar 4.6 Respon model referensi terhadap masukan unit step
Sumber : Perancangan

Pada model referensi *overshoot* 0%, dan *settling time* (t_s) adalah 300 detik

4.9. Penetapan Parameter Pengendali

Sistem pengendalian MRAS mempunyai syarat, yaitu mampu menyesuaikan fungsi alih $y_p(t)$ terhadap $r(t)$ sama dengan $y_m(t)$ terhadap $r(t)$. Struktur pengendali mempunyai generator sinyal bantu yang menghasilkan parameter sinyal ω sehingga sinyal kendali yang dihasilkan pengendali adalah $u = \theta \cdot \omega$. Dalam hal ini θ 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 4.14, 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 4.7 Struktur dasar pengendali adaptif

Sumber : Butler, 1992: 53

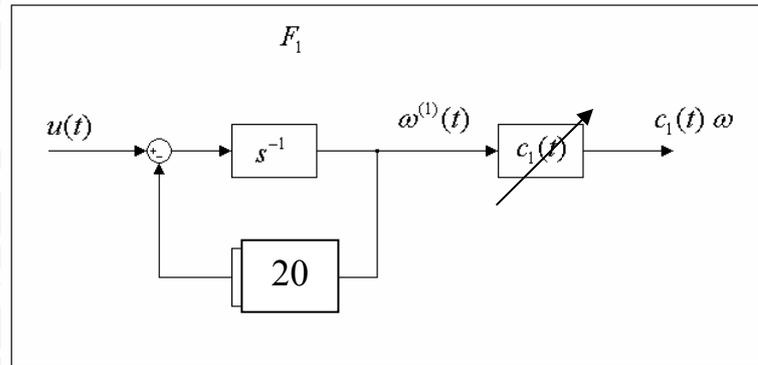
F_1 dan F_2 dinyatakan dalam fungsi alih W_1 dan W_2 , dengan persamaan :

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

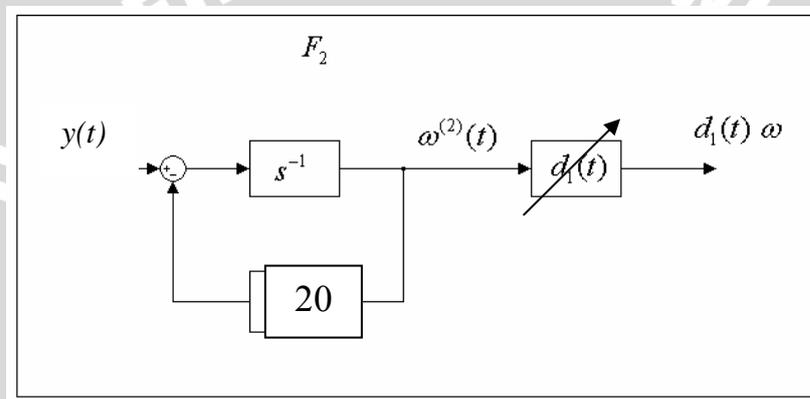
Polinomial $N(s)$ pada generator sinyal bantu sama dengan *zero* model referensi (Sastry dan Bodson, 1993 : 105). Sehingga fungsi alih W_1 dan W_2 adalah :

$$W_1(s) = \frac{1}{s+20} \quad \text{dan} \quad W_2(s) = \frac{1}{s+20} \quad (4.14)$$

Dalam diagram blok, F_1 dan F_2 digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.8 Diagram blok generator sinyal 1 dan parameter c_1 pada F_1
Sumber : Perancangan



Gambar 4.9 Diagram blok generator sinyal 2 dan parameter d_1 pada F_2
Sumber : Perancangan

Parameter pengendali adalah θ , dan parameter generator sinyal adalah ω , 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

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

$$u(t) = k_0(t) \cdot r(t) + c_1(t) \cdot \omega^{(1)}(t) + d_1(t) \cdot \omega^{(2)}(t) \quad (4.15)$$

4.10. 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) :

$$e_1(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (4.16)$$

Proses adaptasi berakhir jika keluaran *plant* dapat mengikuti keluaran model referensi. Selama berlangsung proses adaptasi, berlaku parameter *error* ϕ yang besarnya (Butler, 1997 :54)

$$\phi(t) = \theta(t) - \theta^*(t) \quad (4.17)$$

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

$$\theta^* = [k_0^*, c_1^*, d_1^*] \quad (4.18)$$

sehingga sinyal kendali dinyatakan sebagai

$$u(t) = k_0^*(t).r(t) + c_1^*(t).\omega^{(1)}(t) + d_1^*(t).\omega^{(2)}(t) \quad (4.19)$$

4.11. 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,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |y_p(t) - y_m(t)| = 0 \quad (4.20)$$

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 mempunyai syarat (Butler, 1997 : 12):

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

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

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

$$V(x) = 0$$

Untuk menerapkan metode *Lyapunov*, diperlukan tahapan :

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

$$V = e^T P e + \phi^T \xi \phi \quad (4.21)$$

Dengan e merupakan sinyal *error*, dan ϕ adalah parameter *error*. $\phi = \theta - \theta^*$.

Sedangkan ξ adalah penguatan adaptasi yang memenuhi syarat definit positif, matriks ditentukan sebagai matriks diagonal sehingga ξ 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 ϕ 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 .

$$A^T P + PA = -Q \quad (4.22)$$

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

$$\dot{V} = e^T P e + \phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4.23)$$

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

$$\dot{V} = e^T (A_m^T P + P A_m) e + 2(\phi^T \omega) b_m^T P e + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \quad (4.24)$$

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

$$A_m^T P + P A_m = -Q \quad (4.25)$$

$$b_m^T P e = e_1 \quad (4.26)$$

Dengan demikian maka persamaan (4.24) dituliskan lagi menjadi:

$$\dot{V} = -e^T Q e + 2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} \quad (4.27)$$

Untuk memastikan bahwa V adalah definit negatif, maka dua suku terakhir pada persamaan (4.27) dibuat sama dengan nol, sehingga:

$$2(\phi^T \omega) e_1 + 2\phi^T \xi^{-1} \dot{\phi} = 0$$

$$(\phi^T \omega) e_1 = -\phi^T \xi^{-1} \phi \quad (4.28)$$

Dengan demikian, diperoleh hukum adaptasi :

$$\theta = \phi = -\xi \omega e_1 \quad (4.29)$$

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

$$\theta(t) = \theta(t-1) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4.30)$$

Sehingga,

$$\dot{\theta}(t) = \theta(t) - \xi \omega(t) e_1(t) \quad (4.31)$$

Dengan penguatan adaptasi yang telah ditentukan dan parameter pengendali yang telah ditentukan,

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

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

maka persamaan hukum adaptasi dinyatakan sebagai :

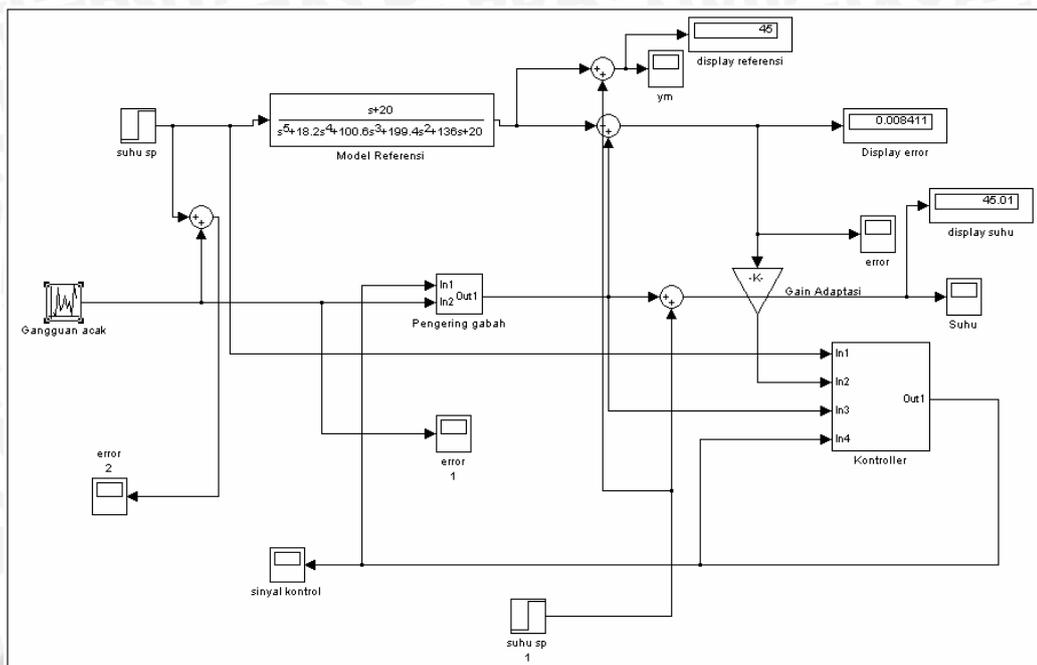
$$\dot{k}_0(t) = k_0(t) - \xi r(t) e_1(t) \quad (4.32)$$

$$\dot{c}_1(t) = c_1(t) - \xi \omega^{(1)}(t) e_1(t) \quad (4.33)$$

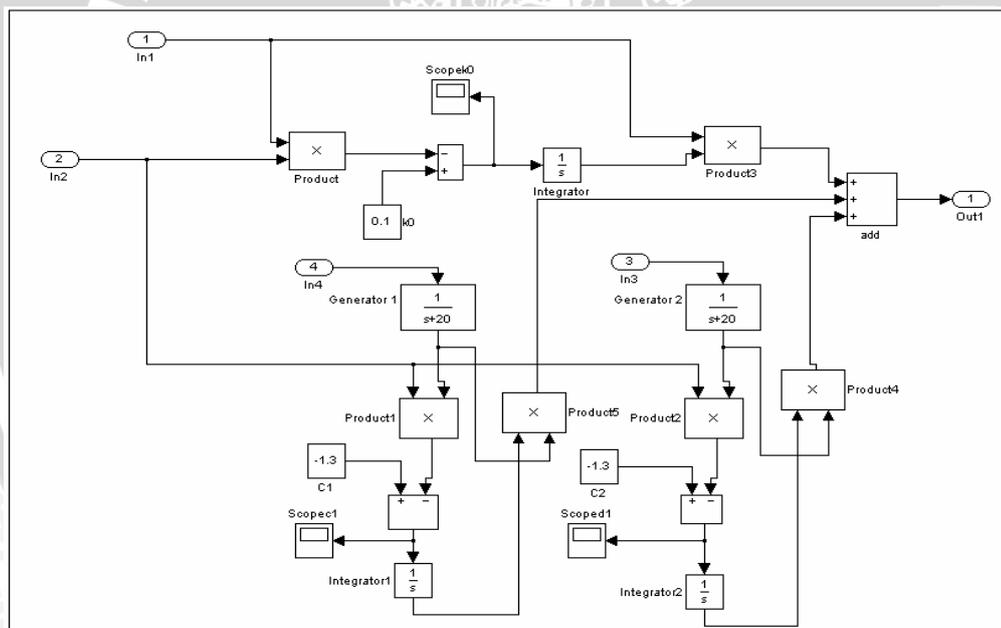
$$\dot{d}_1(t) = d_1(t) - \xi \omega^{(2)}(t) e_1(t) \quad (4.34)$$

4.12. Skema Simulasi Pengering Gabah Dengan Model Reference Adaptive System Pada Simulink Matlab 7.0

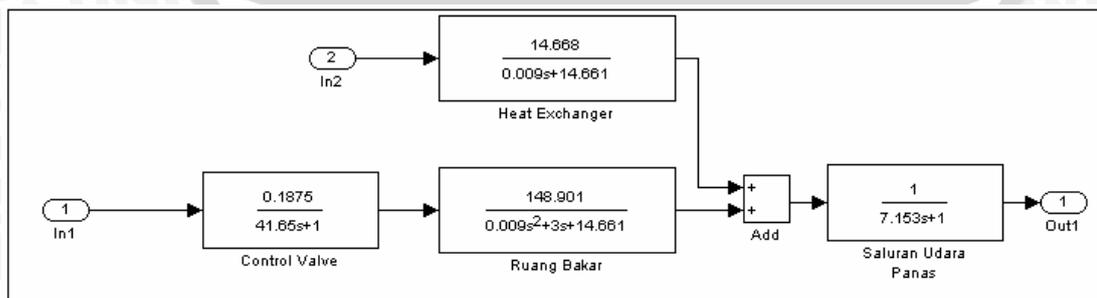
Dari hasil pemodelan dari masing-masing bagian pada *pengering gabah*, kemudian disimulasikan pada Simulink, dengan besar penguatan adaptasi yang diambil adalah sebesar 5. Besarnya nilai penguatan adaptasi berdasarkan metode *trial and error*, sampai didapatkan respon yang terbaik pada keluaran *plant*.



Gambar 4.10 Simulasi Pengering Gabah dengan MRAS pada Simulink Sumber Perancangan



Gambar 4.11 Kontroler MRAS pada Simulink Sumber Perancangan



Gambar 4.12. Blok simulasi plant pada simulink

BAB V

PERENCANAAN DAN SIMULASI PENGENDALIAN

5.1 Simulasi Model Reference Adaptive System

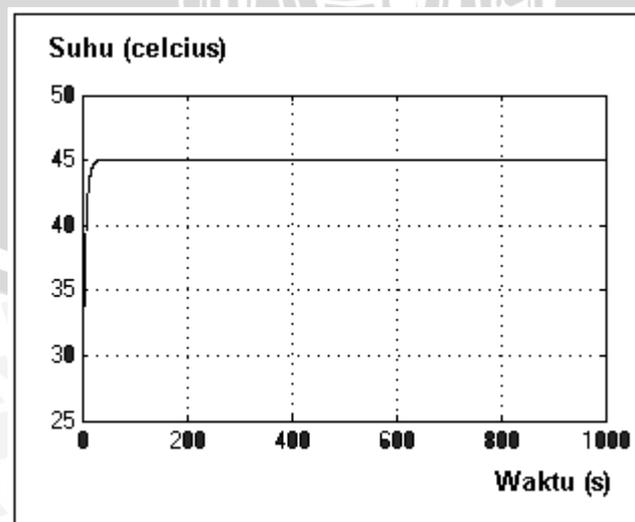
Simulasi dalam bab ini merupakan simulasi penggunaan metode MRAS pada pengendalian temperatur pengering gabah berenergi sekam. Tujuan dari simulasi ini untuk mendapatkan data hasil pengendalian pada sistem pengering gabah.

Dalam simulasi ini dilakukan tahap-tahap:

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

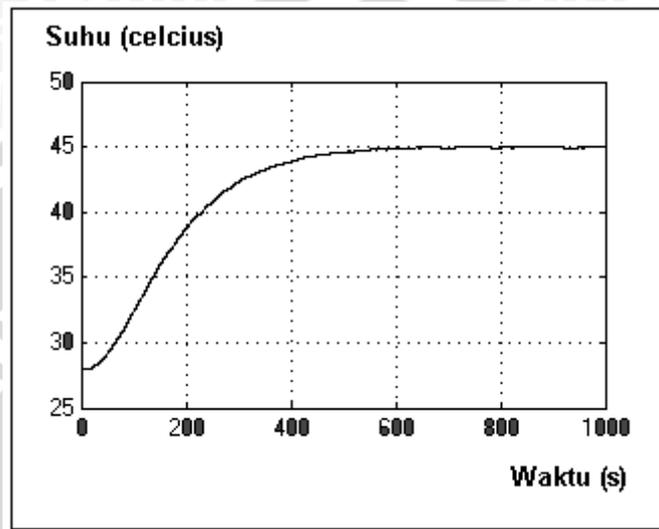
Hasil simulasi model referensi dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C , ditunjukkan pada gambar 5.1



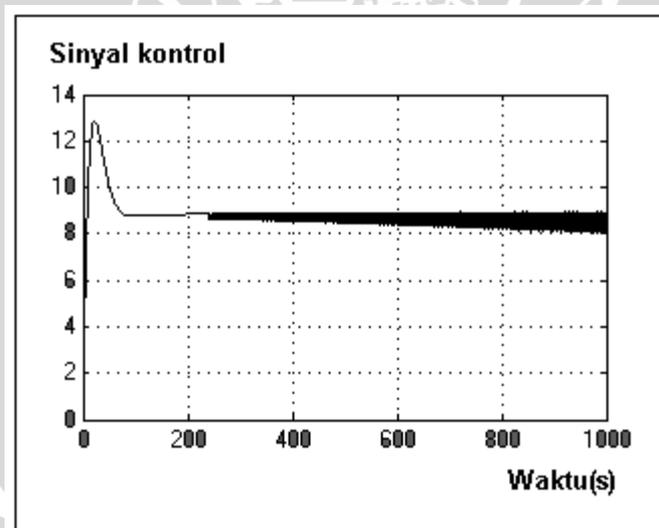
Gambar 5.1. Respon model referensi dengan *set point* sebesar 45°C

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

Hasil simulasi sistem tanpa *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C , ditunjukkan pada Gambar 5.2 sampai dan Gambar 5.3.



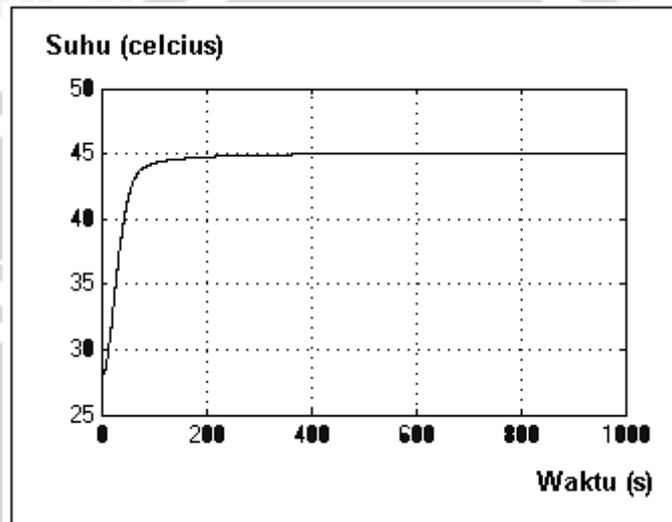
Gambar 5.2. Respon plant dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



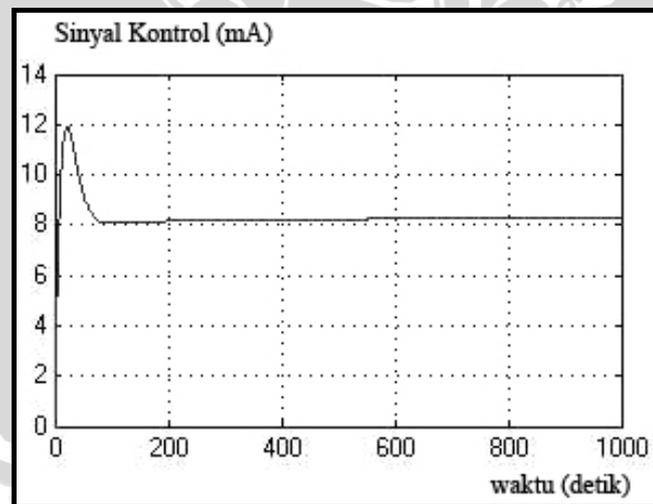
Gambar 5.3. Sinyal kontrol dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C

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

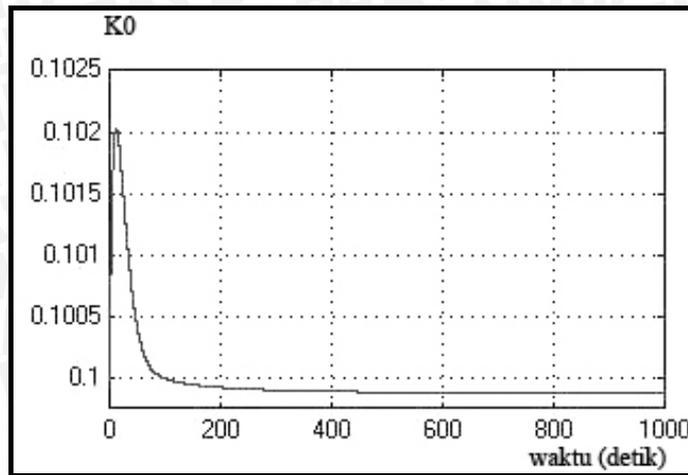
Hasil simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C , ditunjukkan pada Gambar 5.4 sampai dengan Gambar 5.8. Parameter setelah *dituning* menjadi, k_0 adalah 0.1, c_1 sebesar -1.3 dan d_1 sebesar -1.3.



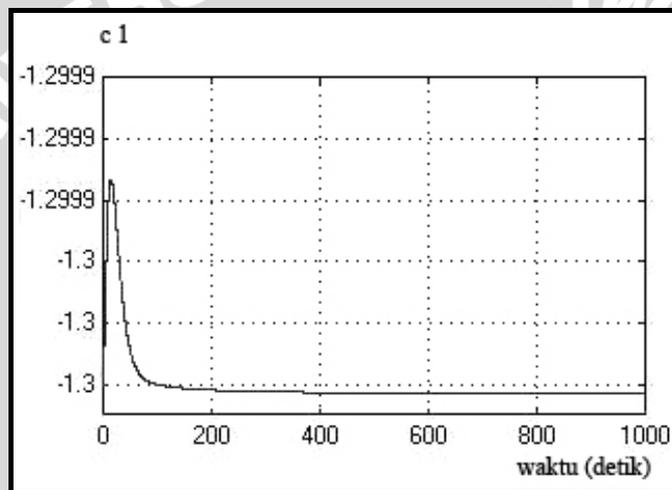
Gambar 5.4. Respon plant dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



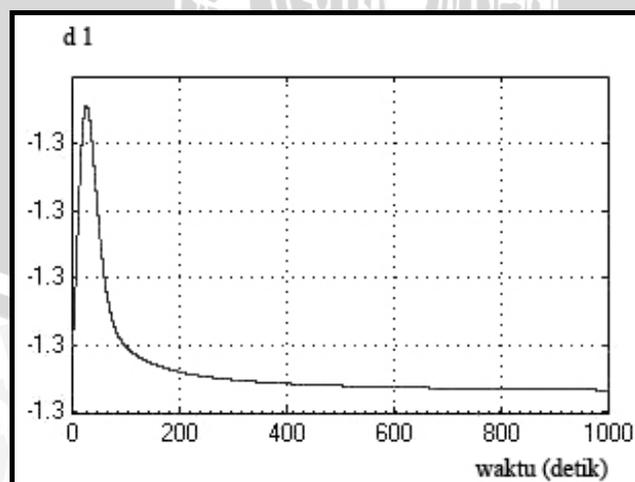
Gambar 5.5. Sinyal kontrol dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



Gambar 5.6. Sinyal k0 dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



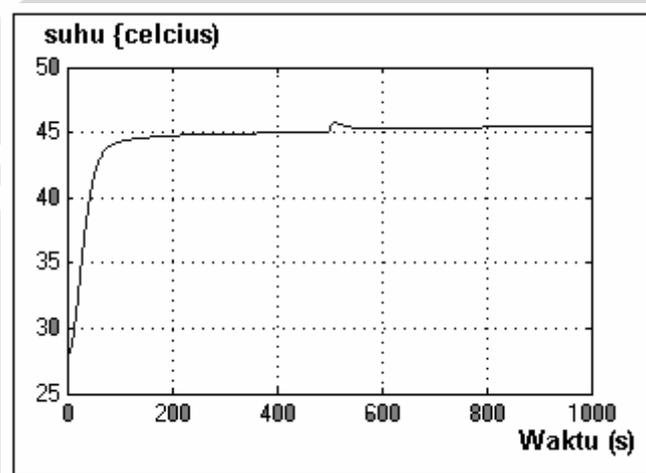
Gambar 5.7. Sinyal c1 dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



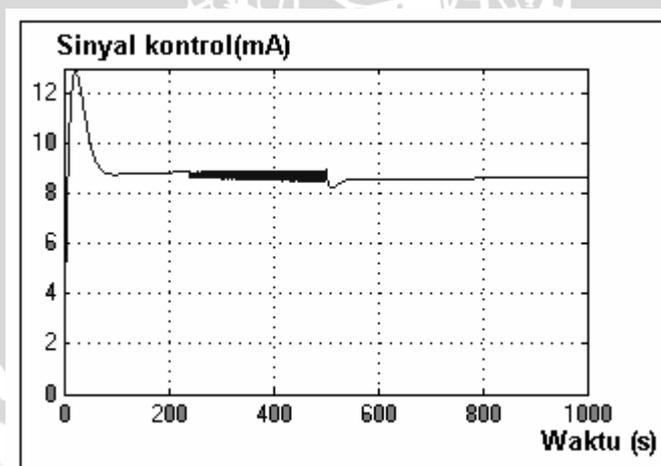
Gambar 5.8. Sinyal d1 dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C

5.5 Hasil Simulasi Sistem Dengan *Tuning* Parameter Pengendali dan Dengan Gangguan.

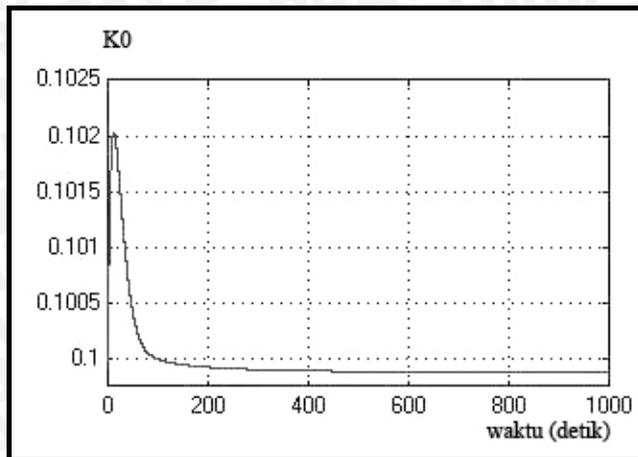
Hasil simulasi sistem dengan *tuning* parameter pengendali tanpa gangguan dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C , ditunjukkan pada gambar 5.9 sampai dengan gambar 5.13. Parameter dari k0 adalah 0.1, c1 sebesar -1.3 dan d1 sebesar -1.3. Simulasi gangguan yang pertama adalah pemberian gangguan berupa perubahan ruangan pada *heat exchanger* menjadi 47°C pada detik ke 500, untuk mengamati waktu pulih dari sistem.



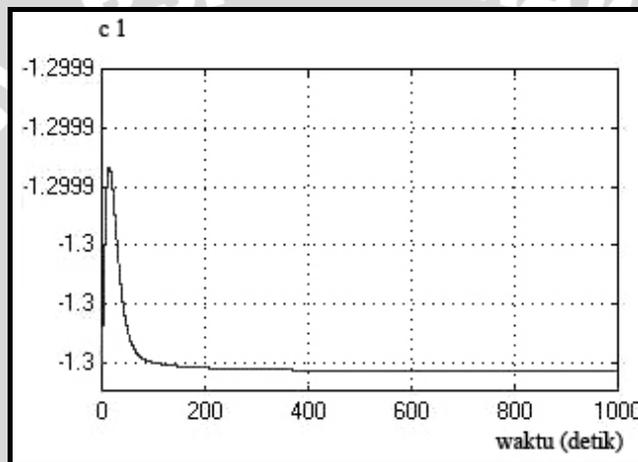
Gambar 5.9. Respon plant dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



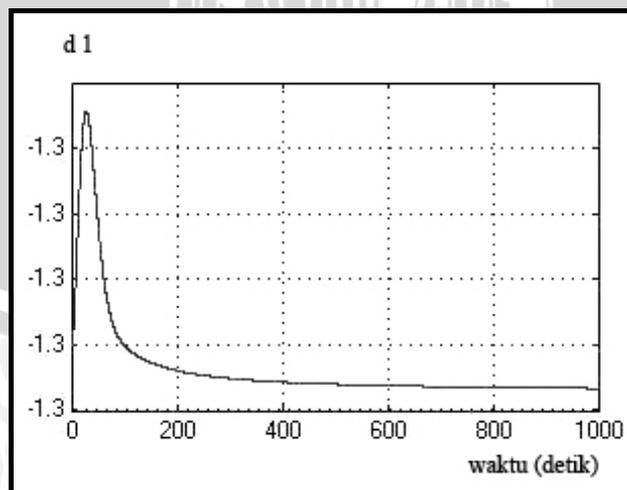
Gambar 5.10. Sinyal kontrol dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



Gambar 5.11. Sinyal k0 dengan set point sebesar 45⁰ C dengan suhu ruangan pada heat exchanger sebesar 28⁰ C

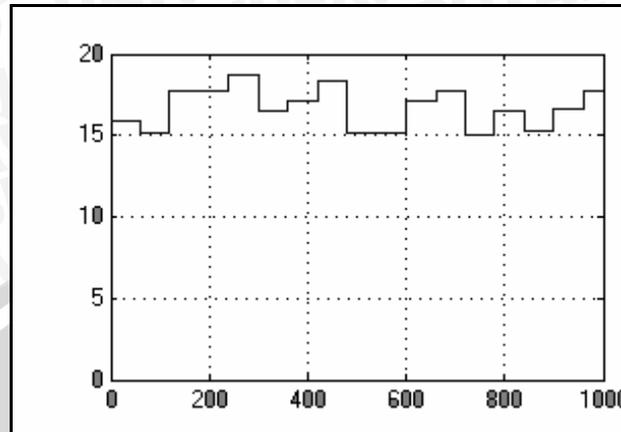


Gambar 5.12. Sinyal c1 dengan set point sebesar 45⁰ C dengan suhu ruangan pada heat exchanger sebesar 28⁰ C

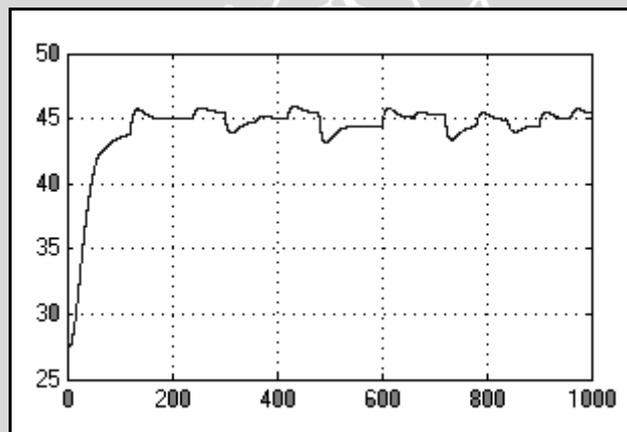


Gambar 5.13 Sinyal d1 dengan set point sebesar 45⁰ C dengan suhu ruangan pada heat exchanger sebesar 28⁰ C

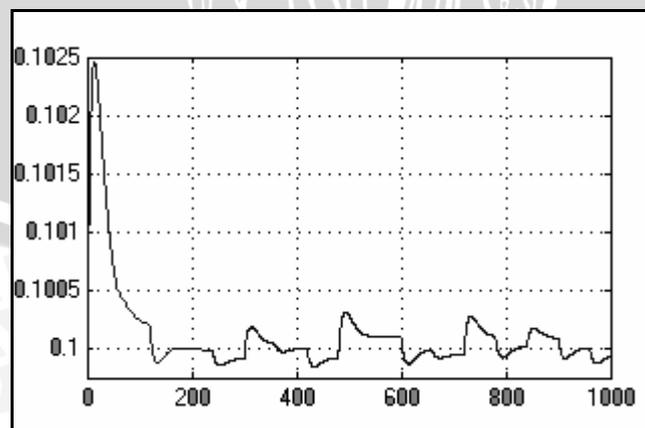
Simulasi gangguan yang kedua adalah pemberian gangguan berupa perubahan suhu ruangan pada *heat exchanger* dengan range 2°C tiap 60 detik.



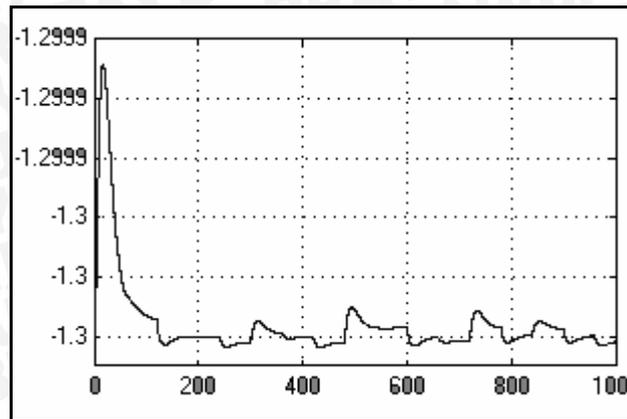
Gambar 5.14. Respon gangguan dengan penambahan sinyal acak pada range 2°C tiap 60 detik



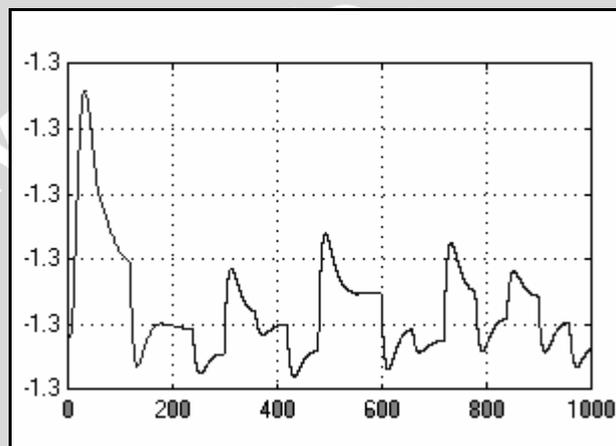
Gambar 5.15. Respon plant terhadap waktu t pada suhu 28°C dengan set point 45°C



Gambar 5.16. Sinyal k_0 dengan set point sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



Gambar 5.17. Sinyal c1 dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C



Gambar 5.18 Sinyal d1 dengan *set point* sebesar 45°C dengan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 28°C

5.6 Analisis Hasil Simulasi Pengendalian Sistem Tanpa Gangguan dan Tanpa Tuning Paramater 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%, dengan *settling time* sebesar 600 detik.

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

Dari percobaan kedua, nilai c_1 dan d_1 -1.3, sementara nilai k_0 diubah menjadi 0.1 *error* antara *plant* dengan model referensi sama dengan 0%, dengan *settling time* sebesar 385 detik.

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

Gangguan yang diberikan pada sistem ada dua macam. Gangguan yang pertama adalah pemberian gangguan berupa perubahan *suhu* menjadi pada detik ke dari proses, untuk mengamati waktu pulih dari sistem. Sedangkan simulasi gangguan yang kedua adalah pemberian gangguan acak pada *suhu* yang terjadi setiap detik.

Pada pemberian gangguan yang pertama, dari Gambar kontroler dapat mengatasi gangguan, dengan waktu pulih sebesar 60 detik. Sedangkan pada pemberian gangguan yang kedua berupa pemberian gangguan acak, pada pengujian saat detik ke 1000 *error steady state* sistem sebesar 0,05%.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dengan *Model Reference Adaptive System* padaendalian temperatur alat pengering gabah berenergi sekam di Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, melalui pengujian dan analisis yang dilakukan sebagai berikut :

1. Desain simulasi pengendalian *temperatur* dengan MRAS pada keadaan tanpa gangguan acak dengan *tuning* parameter pengendali didapatkan nilai $k_0= 0.1, c_1=-1.3$, dan $d_1= -1.3$ dapat meminimalkan *error steady state* sistem sampai 0 %.
2. Pada simulasi dengan gangguan acak, pengendalian MRAS dapat mengatasi gangguan yang berupa sinyal *step* dan sinyal acak. Pada pemberian sinyal *step*, perubahan suhu ruangan pada *heat exchanger* sebesar 2°C waktu pulih selama 60 detik. Sedangkan pada pemberian sinyal acak dengan kisaran 2°C tiap 60 detik, *error steady state* sebesar 0.05 % pada detik ke 1000 .

6.2 Saran

1. Untuk pengembangan dan sebagai alternatif lain perancangan, dapat digunakan pengendali adaptif dengan skema *Gain Scheduling* maupun *Self Tuning Regulator*.
2. Penggunaan model referensi dengan kriteria, ataupun orde yang berbeda dapat diujikan untuk mengetahui respon sistem yang berbeda.
3. Penggunaan pengendali non linier yang lain dapat digunakan sebagai alternatif pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arya, D. I Made. 1987. *Mekanika Fluida I*. Diktat Jurusan Teknik Mesin ITS. Surabaya.
- Broker, D.W, F.W, Bakker, A and C.W.Hall. 1992. *Drying Storage of Grains and Oilseeds*. An AVI Bock. New York.
- Duffie, Jhon.A & Beckman, William.A. 1980. *Solar Engginering of Thermal Process*. John W & Sons Inc. Canada.
- Earle. 1982. *Satuan Operasi dalam Pengolahan Makanan*. Terjemahan Zein Nasution. Sastra Husada. Jakarta.
- Hall,C.W. 1980. *Drying and Storage of Agricultural Crops*. AVI Publishing Company Inc. Westport.
- Husna, Futi Khatul. 2004. *Uji Unjuk Kerja Pemanas Udara Pada Alat Pengering Gabah Dengan Sumber Panas Bahan Bakar Sekam*. Skripsi. Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Malang.
- Holman, JP. 2004. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Terjemahan E. Jasifi. Erlangga. Jakarta.
- Ogata, K. 1996. *Teknik Kontrol Automatik Jilid I*. Jakarta : Erlangga
- Ogata, K. 1996. *Teknik Kontrol Automatik Jilid II*. Jakarta : Erlangga
- Coughanowr, D. 1991. *Process System Analysis And control*. USA : McGraw-Hill.Inc
- 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*
- Narendra, K. S., Annaswamy, N ., 1989. *Stable Adaptive Control*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall 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.
- Gunterus, F. 1994. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta : PT. Elex media Komputindo.

