

Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA,  
Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011

## DESAIN PENGENDALIAN KETINGGIAN AIR DAN TEMPERATUR UAP PADA SISTEM *STEAM DRUM BOILER* DENGAN METODE *SLIDING MODE CONTROL* (SMC)

<sup>1</sup>Teguh Herlambang, <sup>2</sup>Erna Apriliani, <sup>3</sup>Hendra Cordova dan <sup>4</sup>Mardlijah

<sup>1,2,4</sup> *Jurusan Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya, Indonesia*

<sup>3</sup> *Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Kampus ITS Keputih Sukolilo Surabaya, Indonesia*

*Email : teguh@matematika.its.ac.id , teguh\_itscuk06@yahoo.com*

### Abstrak

Pada suatu sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang memegang peranan penting adalah *boiler*. *Steam drum Boiler* merupakan sebuah drum yang berfungsi untuk memisahkan fluida antara fase gas dan fase cair. Keberadaannya dalam sebuah sistem *boiler*, memegang peranan yang sangat penting. Variabel yang dikendalikan dalam *steam drum boiler* adalah ketinggian air dan temperatur uap sehingga perlu adanya sistem pengendali. Pada *steam drum boiler* memiliki model dinamika yang nonlinier dan memiliki banyak ketidakpastian (*uncertainties*). Permasalahan umum yang sering dihadapi sistem pengendali nonlinier adalah munculnya gangguan tak pasti yang berasal dari dalam maupun luar sistem serta parameter yang tidak konstan. Untuk memperbaiki performansi sistem, digunakan salah satu metode yang cukup banyak mendapat perhatian yaitu *Sliding Mode Control* (SMC). Pada Paper ini, dirancang suatu sistem pengendali dengan menggunakan metode SMC yang diterapkan pada sistem *Steam Drum Boiler*. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa secara umum pengendali SMC *robust* terhadap gangguan eksternal baik bernilai kecil maupun besar, serta terhadap gangguan internal baik dengan memperkecil parameter maupun memperbesar parameter..

**Kata kunci:** *Sliding Mode Control* (SMC), *steam drum boiler*, ketinggian air, temperatur uap

### PENDAHULUAN

Di Negara kita, memproduksi listrik dilakukan oleh bermacam-macam jenis instalasi pembangkit listrik yang rumit. Salah satunya adalah PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Pada suatu sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), yang memegang peranan penting adalah *boiler*. *Steam drum boiler* merupakan sebuah tangki yang berfungsi untuk memisahkan fluida antara fase gas dan fase cair. Variabel yang dikendalikan dalam *steam drum boiler* adalah ketinggian air dan temperatur uap. Pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* adalah hal yang sangat penting untuk *safety* dan *efisiensi* operasional dari *boiler* sehingga dapat dikatakan bahwa *steam drum boiler* adalah jantung dari sebuah *boiler*.

Dalam hal ini ketinggian air dipertahankan pada ketinggian *set point* yaitu sebesar 0,7625 m. *Control valve* pada flow air merupakan pengontrol sistem ketinggian air yang dapat dikendalikan sesuai *set point*. Temperatur uap dipertahankan pada nilai *set point* yang ditentukan yaitu sebesar 786 K. Flow uap panas merupakan pengontrol sistem temperatur uap yang dapat dikendalikan agar temperatur uap sesuai dengan nilai *set point* yang ditentukan.

Untuk memperbaiki performansi sistem, digunakan salah satu metode untuk pengendalian

adalah *Sliding Mode Control* (SMC). SMC memiliki beberapa keunggulan, yaitu sifatnya yang sangat robust, mampu bekerja dengan baik pada sistem nonlinear yang memiliki ketidakpastian model ataupun parameter. Sehingga pada penelitian ini, dirancang desain pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* dengan menggunakan *Sliding Mode Control* (SMC). Agar penelitian ini tidak meluas maka ada ada batasan yaitu plant yang dijadikan objek penelitian adalah *steam drum boiler* PT PJB Unit Pembangkitan Gresik PLTU ½ dan diasumsikan *steam drum boiler* dalam keadaan belum terisi saat kondisi awal.

## METODE PENELITIAN

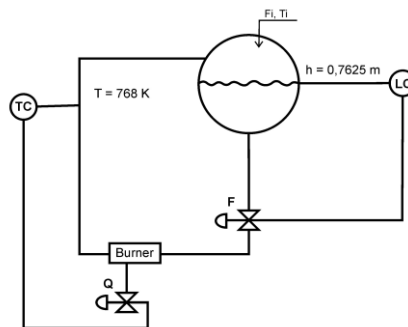
Metode yang digunakan pada paper ini dalam menyelesaikan permasalahan adalah :

1. Kajian pustaka dan Analisis permasalahan.
2. Mengkaji model matematika ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler*.
3. Perancangan desain pengendali SMC untuk sistem *steam drum boiler*.
4. Simulasi menggunakan *software* Matlab 7.
5. Analisis performansi sistem yang dikendalikan dengan SMC.
6. Penyimpulan hasil analisis simulasi.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### Perancangan Pengendali *Sliding Mode Control* (SMC)

Rancangan sistem pengendali ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler*. Model matematika dari *steam drum boiler* dibentuk oleh dua variabel yaitu ketinggian air dan temperatur uap



Gambar 1 *steam drum boiler*

Model matematika dari gambar 1 adalah [3] :

$$A \frac{dh}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad (1)$$

$$Ah \frac{dT}{dt} = F_{in} T_{in} - T + \frac{Q}{\rho C_p} \quad (2)$$

dimana  $F_{out} = kw\sqrt{h}$

Dengan :

$F_{in}$  = Flow air yang masuk (kg/jam) ;  $F_{out}$  = Flow air yang keluar (kg/jam)

$T$  = Temperatur uap (K) ;  $T_{in}$  = Temperatur air yang masuk (K) ;  $Q$  = Flow uap (kg/jam)

$V$  = Volume air (m<sup>3</sup>) ;  $A$  = Luas steam drum boiler (m<sup>2</sup>) ;  $h$  = Ketinggian Air (m)

$\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>) ;  $C_p$  = kapasitas panas dalam steam drum (J/kg K)

$w$  = control valve flow air (m) ;  $k$  = koefisien control valve (m<sup>3/2</sup>/jam)

Pada paper ini menggunakan *Static Sliding Mode Control* (SSMC) yang merupakan bagian dari SMC dimana SMC memiliki Fungsi *Switching* yaitu permukaan  $S(x,t)$  di dalam ruang

keadaan  $R^n$ , memenuhi persamaan  $S(x,t) = \left( \frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} e$  dan permukaan *sliding* (*sliding surface*)

merupakan persamaan yang memenuhi  $S(x,t) = 0$  dan persamaan kondisi sliding yang dapat ditulis dalam bentuk  $\dot{S} \leq -\eta|S|$

Pemodelan matematika pada *steam drum boiler* yang mengacu dari persamaan (1) dan (2) dengan

memisalkan  $\frac{F_{in}}{A} = a_1 = b_2$ ;  $\frac{-k}{A} = b_1$ ;  $\frac{F_{in}T_{in}}{A} = a_2$  dan  $\frac{1}{A\rho C_p} = c$  maka dapat dituliskan :

$$\dot{h} = a_1 + b_1 w \sqrt{h} \quad (3)$$

$$\dot{T} = \frac{1}{h} a_2 - b_2 T + c Q \quad (4)$$

Langkah pertama, Tracking error dari ketinggian air dan temperatur uap adalah :

$$\tilde{h} = h - h_d \quad h_d = \text{konstan}$$

$$\tilde{T} = T - T_d \quad T_d = \text{konstan}$$

fungsi *switching* sebagai berikut :

$$S_h = h - h_d \quad \text{dan} \quad S_T = T - T_d$$

Didiferensialkan terhadap  $t$  dan kondisi sliding  $\dot{S}_h = 0$  dan  $\dot{S}_T = 0$ , diperoleh

$$\hat{w} = \frac{-a_1}{b_1 \sqrt{h}} \quad \text{dan} \quad \hat{Q} = \frac{-a_2 - b_2 T}{c}$$

Berdasarkan *control law* yang memenuhi kondisi *sliding* adalah :

$$w = \frac{-a_1}{b_1 \sqrt{h}} - K_h \text{sgn}(S) \quad (5)$$

$$Q = \frac{-a_2 - b_2 T}{c} - K_T \text{sgn}(S) \quad (6)$$

Kemudian dengan mensubstitusikan persamaan (5) dan (6) pada kondisi sliding  $\dot{S}_h = 0$  dan  $\dot{S}_T = 0$ , diperoleh :

$$\dot{S}_h = a_1 - b_1 \left( \frac{a_1}{b_1 \sqrt{h}} + K_h \text{sgn}(S) \right) \sqrt{h} \quad (7)$$

$$\dot{S}_T = \frac{-c K_T \text{sgn}(S)}{h} \quad (8)$$

Nilai  $K_h$  dan  $K_T$  pada persamaan (7) dan (8) harus dirancang agar memenuhi kondisi sliding  $\dot{S} \leq -\eta|S|$ , diperoleh bahwa nilai  $K_h$  dan  $K_T$  adalah :

$$K_h = \left| \max \frac{\eta}{b_1 \sqrt{h}} \right| \quad \text{dan} \quad K_T = \left| \max \frac{\eta h}{c} \right|$$

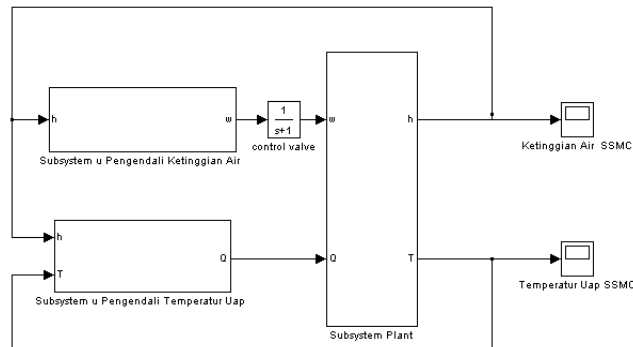
Untuk meminimalkan *chattering* pada persamaan digunakan *boundary layer* dengan

$$w = \hat{w} - K_h \operatorname{sat}\left(\frac{S}{\phi}\right) \text{ dan } Q = \hat{Q} - K_T \operatorname{sat}\left(\frac{S}{\phi}\right)$$

Sehingga diperoleh

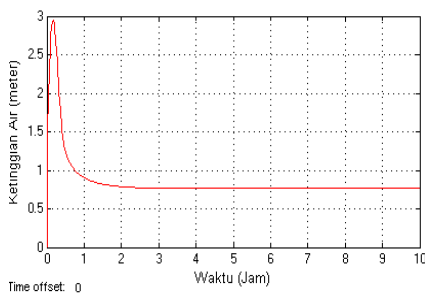
$$w = \frac{-a_1}{b_1 \sqrt{h}} - \left| \max \frac{\eta}{b_1 \sqrt{h}} \right| \operatorname{sat}\left(\frac{S}{\phi}\right) \text{ dan } Q = \frac{-a_2 - b_2 T}{c} - \left| \max \frac{\eta h}{c} \right| \operatorname{sat}\left(\frac{S}{\phi}\right)$$

Sebagai pengontrol untuk sistem *steam drum boiler*

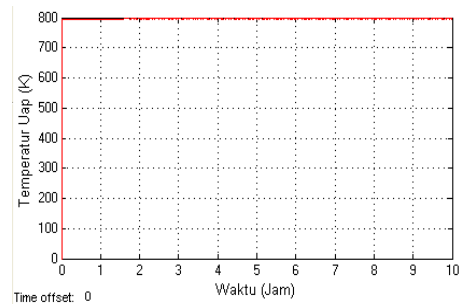


Gambar 2 Diagram Blok Sistem *Steam Drum Boiler* dengan Pengendali SMC

Setelah SMC disimulasikan dengan plant sistem *steam drum boiler* maka akan dihasilkan grafik seperti pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar3 Ketinggian Air



Gambar4 Temperatur Uap

Pada gambar 3 tampak bahwa pada saat pemasukan awal, ketinggian air langsung naik sampai 2.95 m pada saat jam ke-0,17 kemudian SMC pada ketinggian air mengendalikan control valve untuk sedikit ditutup maka air akan turun dan menuju ke posisi ketinggian air yang diinginkan dan stabil pada disekitar 0.7623 m. Pada gambar 4 terlihat bahwa pemasukan awal, temperatur uap langsung langsung naik menuju ke posisi yang diinginkan tetapi masih terjadi error dan terjadi disekitar 796.5 K

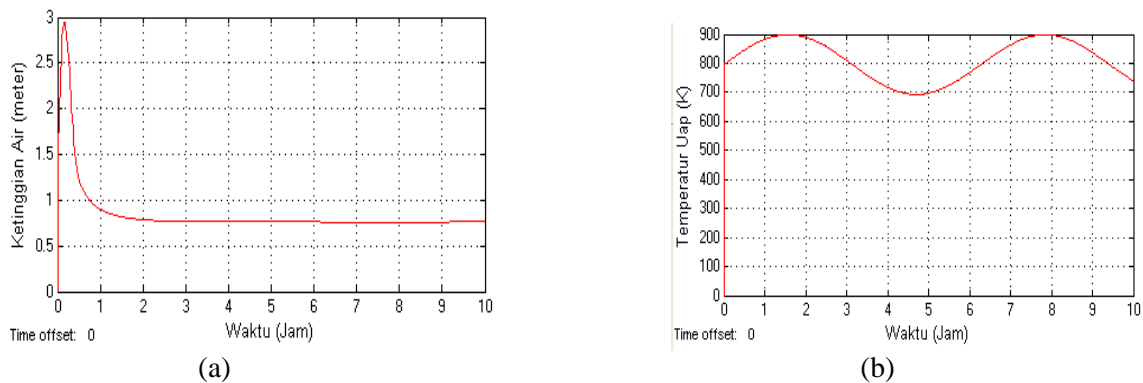
### Hasil Simulasi

Dari hasil rancangan pada pada sistem *steam drum boiler* dan SMC akan dilakukan dua macam simulasi yaitu simulasi dengan gangguan eksternal dan simulasi dengan gangguan internal.

Simulasi pertama dengan Gangguan Eksternal, simulasi ini dilakukan dengan menambahkan suatu sinyal yang dianggap sebagai gangguan yang berasal dari luar sistem. Dalam simulasi ini akan digunakan fungsi sinus. fungsi sinus sebagai representasi gangguan control valve. Nilai awal yang digunakan adalah flow air yang masuk  $F_{in}=386,54$  , temperatur air yang masuk

$T_{in}=796$ , kapasitas panas pada *steam drum boiler*  $C_p=79,676$  dan koefisien control valve  $k=1$ . dan posisi ketinggian air dan temperatur uap yang diinginkan adalah  $0,7625$  m dan  $786$  K.

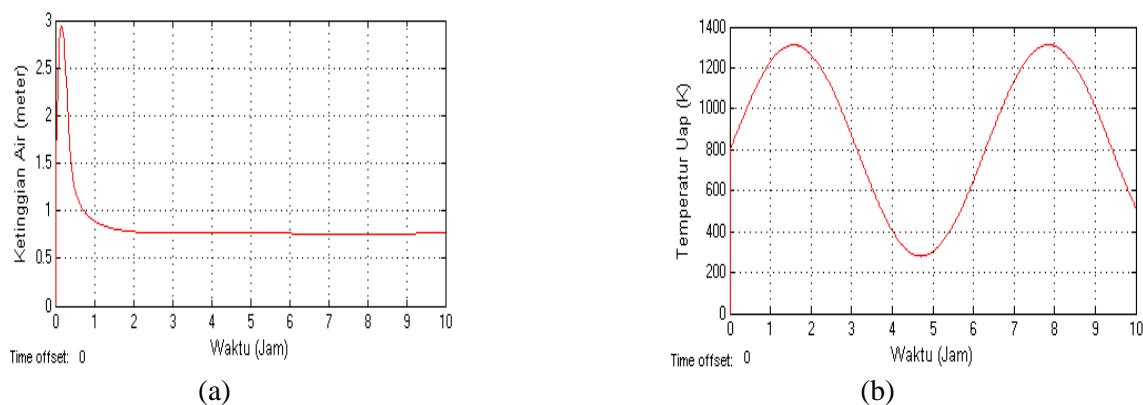
Uji dengan gangguan berupa sinyal fungsi sinus, sinyal fungsi sinus sebagai representasi gangguan control valve. Pada simulasi ini diberikan dua macam sinyal fungsi sinus, yaitu bernilai kecil (Amplitudo 1) dan bernilai besar (Amplitudo 5). Hasil yang diperoleh untuk gangguan eksternal berupa sinyal fungsi sinus kecil adalah terlihat pada gambar 5(a) dan gambar 5(b)



Gambar 5 : (a) ketinggian air dengan gangguan sinyal sinus kecil dan (b) temperatur uap dengan gangguan sinyal sinus kecil

Pada gambar 5(a) tampak ketinggian air stabil disekitar  $0,7635$  m pada saat jam ke-3 namun masih terdapat osilasi. Terjadi overshoot keatas disekitar  $2,95$  m pada saat jam ke- $0,18$ . Pada gambar 5(b) tampak bahwa, temperatur uap stabil disekitar  $740$  K pada saat jam ke- $9,9$  dan masih mengalami osilasi antara  $700$  K -  $900$  K.

Hasil yang diperoleh untuk gangguan eksternal berupa sinyal fungsi sinus besar adalah tampak pada gambar 6(a) dan gambar 6(b).



Gambar 6 : (a) ketinggian air dengan gangguan sinyal sinus besar dan (b) temperatur uap dengan gangguan sinyal sinus besar

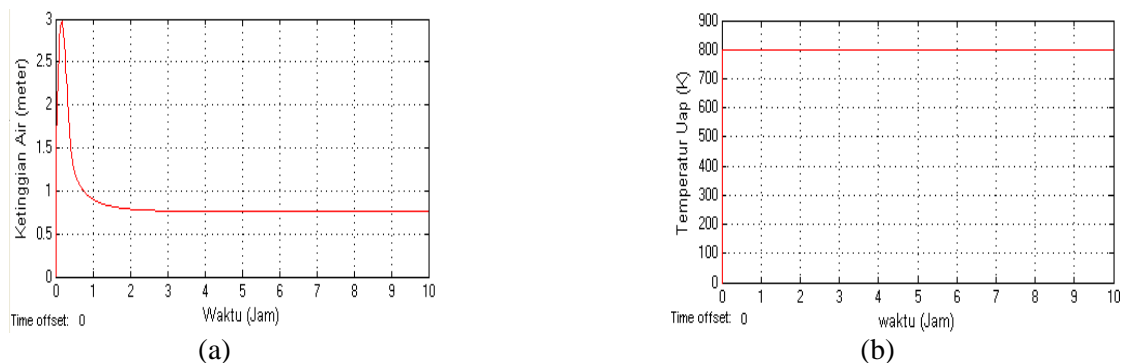
Pada gambar 6(a) tampak bahwa ketinggian air stabil disekitar  $0,7684$  m pada saat jam ke-3 dan mengalami overshoot keatas disekitar  $2,95$  m pada saat jam ke- $0,17$ . Pada gambar 6(b) bahwa temperatur uap stabil disekitar  $516,2$  K pada saat jam ke- $9,9$  dan mengalami osilasi antara  $400$  K -  $900$  K.

Pada sistem pengendali SMC tampak diberikan gangguan eksternal berupa sinyal fungsi sinus untuk pengendali ketinggian air sudah bekerja dengan baik karena masih stabil disekitar 0.7622 m pada saat jam ke-3 sehingga itu menggambarkan bahwa SMC pada sistem pengendali ketinggian air tahan terhadap gangguan eksternal. Namun pada sistem pengendali temperatur uap masih terdapat osilasi dan membutuhkan waktu yang lama untuk stabil.

Simulasi kedua dengan Gangguan Internal, simulasi ini dilakukan dengan mengubah nilai parameter pada sistem *steam drum boiler* untuk menguji sensitifitas sistem terhadap ketidakpastian dari dalam sistem. Parameter yang diubah adalah Flow air yang masuk, temperatur air yang masuk, kapasitas panas dalam *steam drum boiler*, koefisien control valve. Pengujian sistem pengendali dilakukan dengan memperbesar parameter sesuai batasan yang diberikan.

Simulasi Gangguan Internal dengan memperbesar parameter dari nilai semula yaitu flow air yang masuk  $Fin=400$  ; temperatur air yang masuk  $Tin=800$  ; kapasitas panas *steam drum boiler*  $Cp=100$  ; koefisien control valve  $k=1$ .

Hasil yang diperoleh untuk gangguan internal dengan memperbesar parameter adalah tampak pada gambar 7(a) dan gambar 7(b).



Gambar 7 : (a) ketinggian air dengan gangguan internal parameter diperbesar dan (b) temperatur uap dengan gangguan internal parameter diperbesar

Pada gambar 7(a) tampak bahwa ketinggian air stabil disekitar 0,7623 m pada saat jam ke-3 dan mengalami overshoot keatas disekitar 2,98 m pada saat jam ke-0,17. Pada gambar 7(b) tampak bahwa temperatur uap stabil disekitar 800 K pada saat jam ke-0,15. Sehingga menggambarkan bahwa SMC pada sistem pengendali ketinggian air tahan terhadap gangguan internal dengan memperbesar parameter.

## KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan penerapan metode *Sliding Mode Control (SMC)* pada pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* diperoleh kesimpulan bahwa:

1. Rancangan sistem pengendali *Sliding Mode Control (SMC)* dapat diterapkan pada pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler*.
2. Performansi sistem pengendalian ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* dengan *Sliding Mode Control (SMC)*:
  - a. Ketinggian air sudah stabil di posisi yang diinginkan. Temperatur uap sudah stabil namun masih belum seperti posisi yang diinginkan (masih terjadi error 1,27 %).
  - b. Ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* masih stabil meskipun diberikan gangguan eksternal berupa fungsi sinus yang bersifat kecil maupun besar dan gangguan internal dengan memperbesar parameter.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Herlambang, Teguh.2010, “*Pemodelan Matematika dan Analisis Sifat-Sifat Sistem Level Air dan Temperatur pada Steam Drum Boiler di PLTU 1/2 PT PJB UP Gresik*”. Laporan Kerja Praktek, jurusan Matematika, ITS, Surabaya.
- [2] Perruquetti, Wilfrid dan Barbot, Jean Pierre. 2002. **Sliding Mode Control in Engineering**. New York: Marcel Dekker, Inc.
- [3] Stephanopoulos, George, 1984, *Chemical Process Control An Introduction To Theory And Practice*, Prentice Hall International, London.

*Teguh Herlambang / Desain Pengendalian Ketinggian*