

Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada *Annealing Lehr*

Halim Mudia¹, Ramadani², M. Nur Faizi³, Hikmatul Amri⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Jl. H.R. Soebrantas, Riau, Indonesia

^{3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Riau, Indonesia

Email: halim.mudia@uin-suska.ac.id¹, ramadani0082@gmail.com², faizi@polbeng.ac.id³, hikmatul_amri@polbeng.ac.id⁴

Intisari - Kaca merupakan salah satu benda yang bisa diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti untuk keperluan industri dan peralatan rumah tangga. Tapi Dalam proses pembuatan kaca, sering terjadi kegagalan dan tidak lulus uji kualifikasi seperti tidak padat, retak, bergerlembung. Hal ini disebabkan tidak tepatnya pengendalian temperatur ketika proses pemanasan (*heating*) maupun pendinginan (*cooling*) untuk pencampuran dan peleburan material, sehingga harus didaur ulang dan menambah biaya produksi. Oleh karena itu diperlukan suatu kendali untuk pengendalian temperatur agar sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan, sehingga mendapatkan kualitas kaca sesuai dengan kualifikasi yang dibutuhkan. Dalam hal ini kendali yang digunakan adalah Adaptif STR-PID, dimana STR (*Self-Tuning Regulator*) mampu memberikan nilai parameter yang tepat pada PID dan mampu melakukan adaptasi nilai parameter PID jika terjadi perubahan *setpoint* yang sesuai dengan tahap-tahap proses produksi kaca. Dari hasil penelitian ini, terlihat STR-PID mampu mengurangi *error steady state*= 0°C, *overshoot*= 0%, dan mampu mengikuti perubahan nilai *setpoint* saat menaikkan dan menurunkan temperatur.

Kata kunci: *Annealing Lehr*, Adaptif, *Self-Tuning Regulator*, PID

Abstract - Glass is one object that can be applied in various fields, such as for industrial and household appliances. But in the process of making glass, failure often occurs and does not pass the qualification test such as not solid, cracked, bubbly. This is due to inaccurate temperature control during the cooling and heating process for mixing and melting the material, so it must be recycled and increase production costs. Therefore we need a control to control the temperature to match the desired *setpoint*, in order to get the glass quality in accordance with the required qualifications. In this case the control used is Adaptive STR-PID, where STR (*Self-Tuning Regulator*) is able to provide the appropriate parameter values on the PID and is able to adapt the value of the PID (Proportional, Integral, Derivative) parameter if there is a change in *setpoint* in accordance with the stages of the glass production process. From the results of this research, it seems that STR-PID is able to reduce error steady state = 0°C, overshoot = 0%, and able to follow changes in *setpoint* values when raising and lowering temperature.

Keywords: *Annealing Lehr*, Adaptive, *Self-Tuning Regulator*, PID

I. PENDAHULUAN

Kaca merupakan salah satu benda yang digunakan sebagai alat pendukung teknologi yang sedang berkembang. Produk kaca yang sering digunakan berbentuk lembaran yang diaplikasikan untuk alat-alat elektronik, dekorasi rumah, gedung-gedung bertingkat, dan lainnya [1]. Namun dalam proses pembuatannya, sering kali kaca mengalami kegagalan dan tidak lulus uji kualifikasi sehingga harus didaur ulang dan menambah biaya produksi [2].

Kegagalan ini disebabkan tidak tepatnya dalam pengendalian pada bagian *annealing*, yang merupakan suatu proses pemanasan kaca (*heating*) sampai suhu tertentu lalu menahannya dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan (*cooling*) secara bertahap [3]. Kegagalan pada proses produksi sering terjadi pada saat proses *cooling* dari leburan kaca menjadi padatan karena suhu yang tidak stabil tanpa bisa dikendalikan, hal ini bisa dilihat dari simulasi yang dilakukan pada penelitian [4], dimana hasil respon *output annealing* tanpa kendali menunjukkan *error steady state* yang sangat besar dari nilai *setpoint* yang diberikan.

Sedangkan dalam penelitian [5][6], hasil respon *output* menunjukkan bahwa kendali PID masih memiliki nilai *overshoot* yang cukup besar, hal ini dikarenakan pencarian nilai parameter untuk kendali PID masih belum tepat karena penentuan parameternya dilakukan dengan metode *trial and error*. Untuk mengatasi kelemahan PID tersebut, dalam penelitian [7], kendali Adaptif STR-PID yang dikombinasikan terbukti berhasil untuk meng-*tuning* nilai parameter PID yang tepat secara otomatis sehingga nilai *overshoot* dan *error steady state* pada respon *output* sistem bisa mendekati nol.

Dalam proses pembuatan kaca, sering kali mengalami kegagalan dan tidak lulus uji kualifikasi sehingga harus didaur ulang dan menambah biaya produksi. Bentuk kegagalan yang terjadi membuat kaca menjadi tidak padat, retak, bergerlembung dan tidak layak digunakan. Kegagalan terjadi pada pengaturan temperatur ketika proses pendinginan maupun pemanasan untuk pencampuran dan peleburan material. Untuk mengatasi masalah kecacatan yang timbul ketika proses pembuatan kaca tersebut maka dilakukanlah proses *annealing* [2].

Namun dalam melakukan proses *annealing* diperlukan suatu kendali yang tepat, sehingga hasil respon *output*-nya bisa sesuai dengan *setpoint* yang diberikan, dan *overshoot* yang mendekati nol. Dengan nilai *setpoint* yang diberikan yaitu untuk proses *heating*= 1250 °C, dan untuk proses *cooling*= 350 °C.

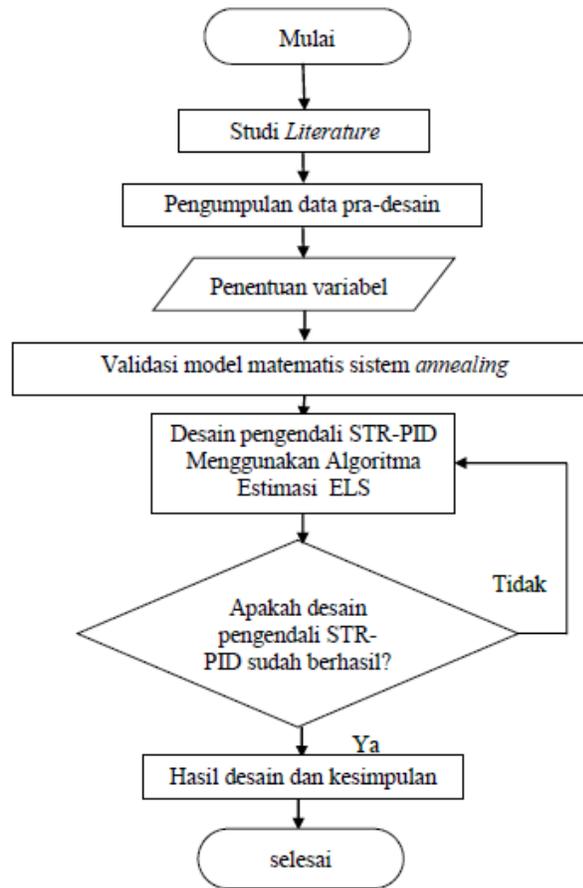
Dalam penelitian ini metode kendali yang digunakan adalah Adaptif STR-PID, dimana STR salah satu pengendali yang dapat beradaptasi mengikuti perubahan yang terjadi pada sistem sehingga bisa memberikan nilai parameter yang tepat untuk PID, sehingga bisa menghasilkan respon *output* yang sesuai dengan yang diinginkan.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan pada *Annealing* dan kendali PID dengan penentuan nilai parameter yang masih menggunakan metode *trial and error* di atas, maka dalam penelitian ini penulis mengangkat judul “Adaptif STR-PID Untuk Pengendalian Temperatur Pada *Annealing Lehr*”.

II. METODE

Pada penelitian ini, telah ditelaah beberapa pustaka khususnya penelitian-penelitian yang terkait dengan topik yang akan diselesaikan. Uraian dari tiap-tiap pustaka yang disampaikan akan dikerucutkan untuk mendapatkan beberapa konsep yang digunakan dalam penelitian. Metode-metode yang mendasari penelitian ini meliputi, sistem *Annealing Lehr*, *Self-Tuning Regulator*, *Extended Least Square*, Sistem Orde 2 dan *Proportional Derivative Integral*.

A. *Flow Chart Penelitian*



Gambar 1. Diagram Blok *Flow Chart* Penelitian

B. *Model Matematika Annealing Lehr*

Pada proses *Annealing* terdapat 2 macam pengendalian temperatur yaitu proses *heating* dan proses *cooling*[8]. Dengan persamaan awal *transfer function* sebagai berikut:

$$\frac{\theta_0(s)}{U(s)} = \frac{K_T K_1 R_T}{(1+T_1 s)(1+R_T C_T s)} \tag{1}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} K_T &= K_{CV} G_T \\ &= (3.3333 \times 10^{-9} \text{ m}^5/\text{kgs})(6933333.3 \text{ kg/m}^2\text{A}) \\ &= 0.0208 \text{ m}^3\text{kg/sA} \end{aligned} \tag{2}$$

dan:

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} \\ &= \frac{100 \text{ m}}{0.11619 \text{ W/m}^0\text{c}} + \frac{150 \text{ m}}{0.08135 \text{ W/m}^0\text{c}} + \frac{68}{0.16270 \text{ W/m}^0\text{c}} \\ &= 3.1224 \text{ m/W}^0\text{c} \end{aligned} \tag{3}$$

maka diperoleh *transfer function Annealing Lehr*:

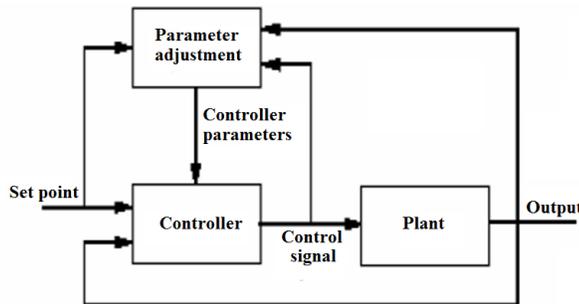
$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{0.0208 \text{ m}^3 \text{ kg/sA} \times 46488.8 \text{ W} \times 3.1224 \text{ m/W}^\circ\text{C}}{(1+12.245s)(1+3.1224 \text{ m/W}^\circ\text{C} \times 80 \text{ J/K})} \quad (4)$$

sehingga didapatkan:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{3019.257}{3058.703s^2 + 262.032s + 1} \quad (5)$$

C. *Kendali Adaptif*

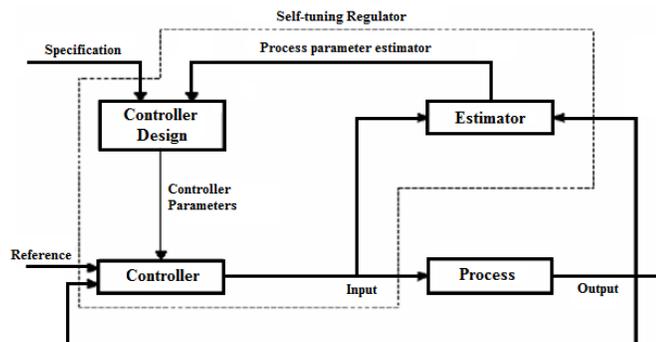
Kendali adaptif adalah kendali pintar dengan *adjustable* parameter dan mekanisme untuk mengatur parameter atau dalam pengertian umumnya berarti mengubah tingkah laku atau karakteristik untuk menyesuaikan diri terhadap keadaan yang baru atau tidak diketahui. Sistem kendali adaptif terdiri atas 2 loop tertutup, loop pertama adalah normal *feedback control* terhadap *plant* dan *controller* dan loop yang kedua adalah loop dengan parameter *adjustment loop* [9].



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Adaptif

1. *Self-Tuning Regulator*

Self-Tuning Regulator merupakan kendali adaptif yang terdiri dari beberapa bagian, yaitu: Blok *Estimator* yaitu merepresentasikan proses estimasi parameter secara langsung dengan menggunakan metode *Extended Least Square*. Blok *Controller Design* yaitu merepresentasikan penyelesaian langsung untuk desain proplem dari parameter yang telah diidentifikasi sebelumnya untuk menghasilkan parameter kendali terbaru sesuai kondisi objek pada saat itu dan terakhir pada blok *Controller* yaitu untuk menghitung aksi kendali yang akan diberikan kepada objek dengan parameter kendali yang telah dihitung pada blok sebelumnya. Sehingga sistem dapat dikatakan sebagai otomatisasi proses *modeling (estimation)* dan *design*. Di mana model dari proses dan desain kendali diperbaharui setiap saat [9].



Gambar 3. Diagram Blok *Self-Tuning Regulator*

2. *Extended Least Square*

Metode yang digunakan sebagai *estimator* nilai parameter *plant* pada penelitian ini adalah *Extended Least Square*, dengan persamaan [9]:

$$F(k) = \frac{1}{\lambda_1(k)} (F(k-1) - \frac{F(k-1)\varphi^T(k-1)F(k-1)}{\lambda_1(k) / \lambda_2(k) + \varphi^T(k-1)F(k-1)\varphi(k-1)}) \tag{6}$$

Nilai parameter *Extended Least Square* akan diperoleh dengan beberapa cara:

1) *Constant forgetting factor.*

- a. Dipilih nilai $0 < \lambda_1 < 1$, dan $\lambda_2 = 1$
- b. Atau dipilih $\lambda_1 = 1$ dan $\lambda_2 > 1$

2) *Variable forgetting factor*

Cara kedua ini dipilih $\lambda_1 = f(t)$, atau sebuah fungsi yang tergantung pada waktu ataupun iterasi, sedangkan nilai $\lambda_2 = 1$.

3) *Constant Trace*

Metode ketiga adalah perbaikan matrik gain estimasi menggunakan *Constant Trace*. Metode ini didasarkan pada *TRACE* (hasil kali diagonal dari matrik gain estimasi). Nilai *TRACE* $F(k-1)$

Pada penelitian ini saya menggunakan metode yang pertama yaitu *Constant Forgetting Factor*.

D. *Sistem Orde 2*

Model matematika dari sistem orde kedua dapat dinyatakan dalam bentuk Persamaan berikut ini [10]:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} \tag{7}$$

Di mana:

K = *Gain overall*

ω_n = Frekuensi alami tak teredam

ξ = Rasio peredaman

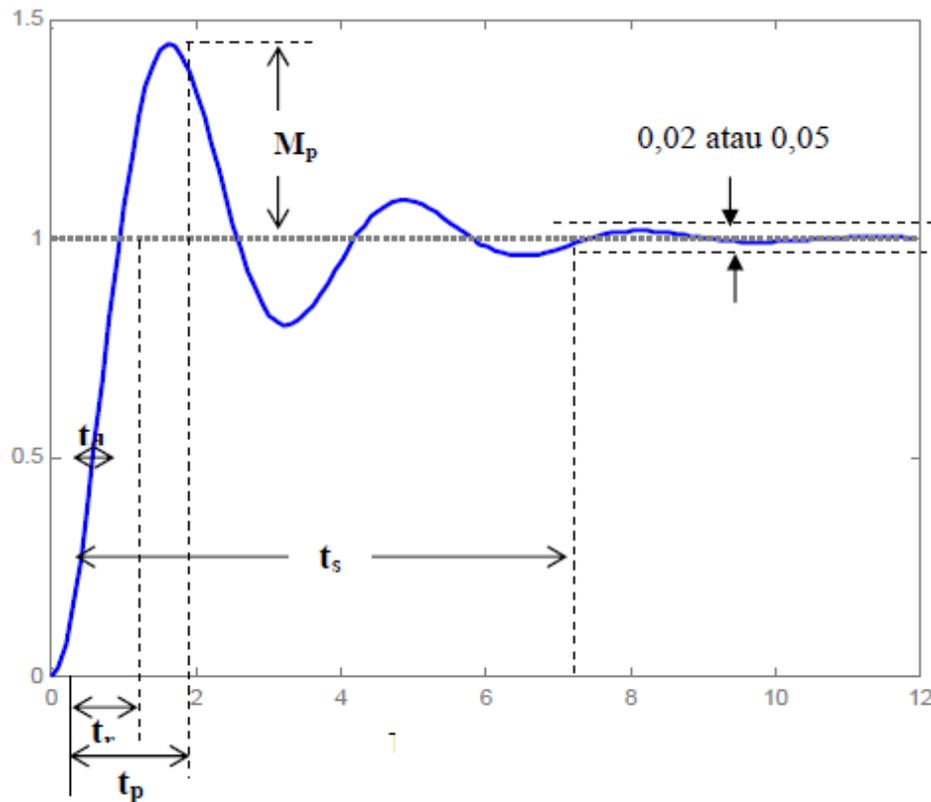
Karakteristik respon transien sistem orde kedua pada gambar 4, terdiri dari:

1. *Spesifikasi teoritis:*

Frekuensi alami tak teredam (ω_n) dan rasio peredaman (ξ).

2. *Spesifikasi praktis:*

Spesifikasi praktis diperoleh dengan asumsi respon sistem orde kedua dalam keadaan redaman kurang (*under damped*).



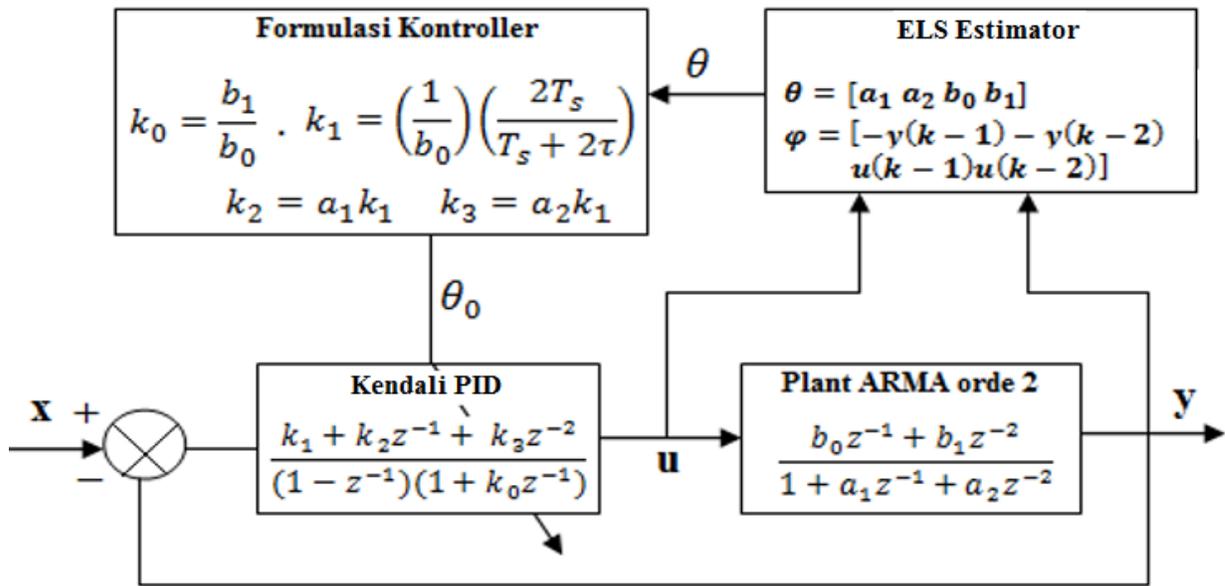
Gambar 4. Karakteristik Respon Waktu Sistem Orde 2

Di mana spesifikasi praktis terdiri dari:

- 1) Waktu tunda (*delay time*), t_d
Waktu tunda adalah waktu yang diperlukan oleh respon *output* untuk mencapai setengah dari nilai *steady state* tunak untuk waktu pertama.
- 2) Waktu naik (*rise time*), t_r
Waktu naik adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon *output* untuk naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai *steady state*.
- 3) Waktu puncak (*peak time*), t_p
Waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon *output* untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.
- 4) *Overshoot* maksimum, M_p
Overshoot maksimum adalah nilai puncak kurva respon *output* diukur dari satuan.
- 5) Waktu tunak (*settling time*), t_s
Waktu tunak adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai keadaan stabil (keadaan tunak) atau dianggap stabil.

E. *Proportional Integral Derivative (PID) Diskrit*

PID diskrit memiliki 4 parameter (k_0, k_1, k_2, k_3). Karena dalam desain kendali STR-PID pada penelitian ini, parameter dari PID diskrit akan diadaptasi menggunakan kendali adaptif STR yang sesuai dengan kebutuhan sistem yang akan dikendalikan.



Gambar 5. Diagram Blok Adaptif STR-PID

Sinyal kendali (u) yang akan diumpangkan ke *plant* dalam bentuk persamaan yaitu sebagai berikut:

$$\frac{u}{e} = \frac{k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1})} \tag{8}$$

$$u(1 - z^{-1})(1 + k_0 z^{-1}) = e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2})$$

$$u(1 + k_0 z^{-1} - z^{-1} - k_0 z^{-2}) = e(k_1 + k_2 z^{-1} + k_3 z^{-2})$$

$$u(1 + (k_0 - 1)z^{-1} - k_0 z^{-2}) = k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2}$$

$$u + (k_0 - 1)u z^{-1} - k_0 u z^{-2} = k_1 e + k_2 e z^{-1} + k_3 e z^{-2}$$

$$u(k) + (k_0 - 1)u(k - 1) - k_0 u(k - 2) = k_1 e + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2)$$

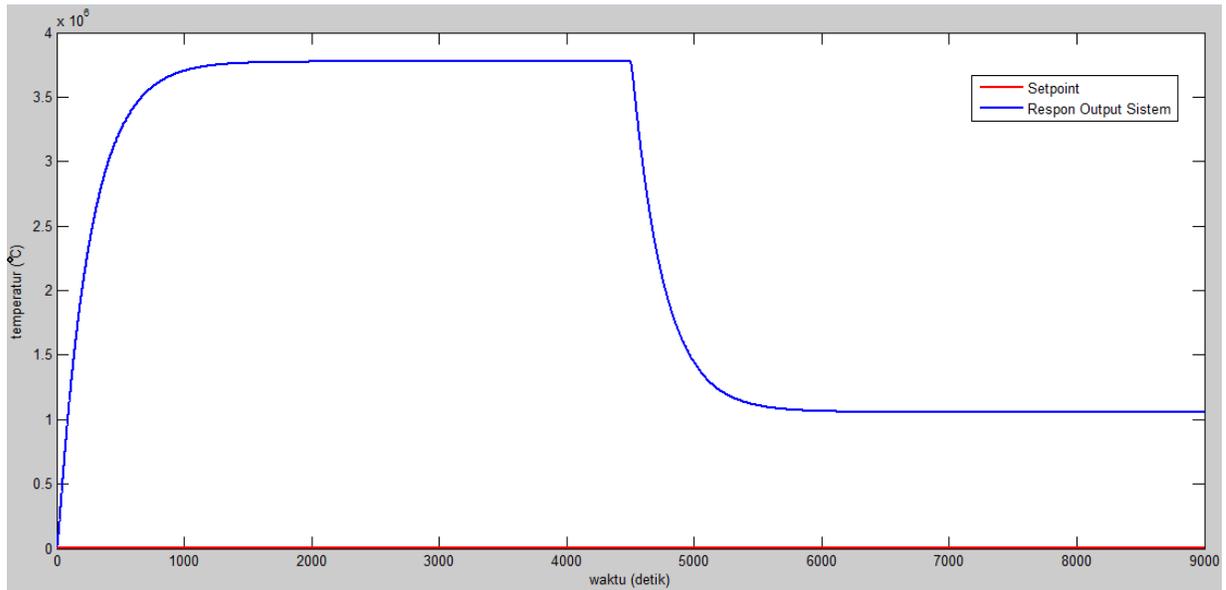
Sehingga didapat:

$$u(k) = -(k_0 - 1)u(k - 1) + k_0 u(k - 2) + k_1 e(k) + k_2 e(k - 1) + k_3 e(k - 2) \tag{9}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai *setpoint* pada *annealing* ditentukan sesuai kebutuhan, untuk proses *heating* ditentukan sebesar 1250°C, dan nilai *setpoint* untuk proses *cooling* sebesar 350°C. Nilai-nilai inilah yang nantinya dijadikan acuan untuk nilai respon *output* sistem yang diinginkan untuk masing-masing pengendalian.

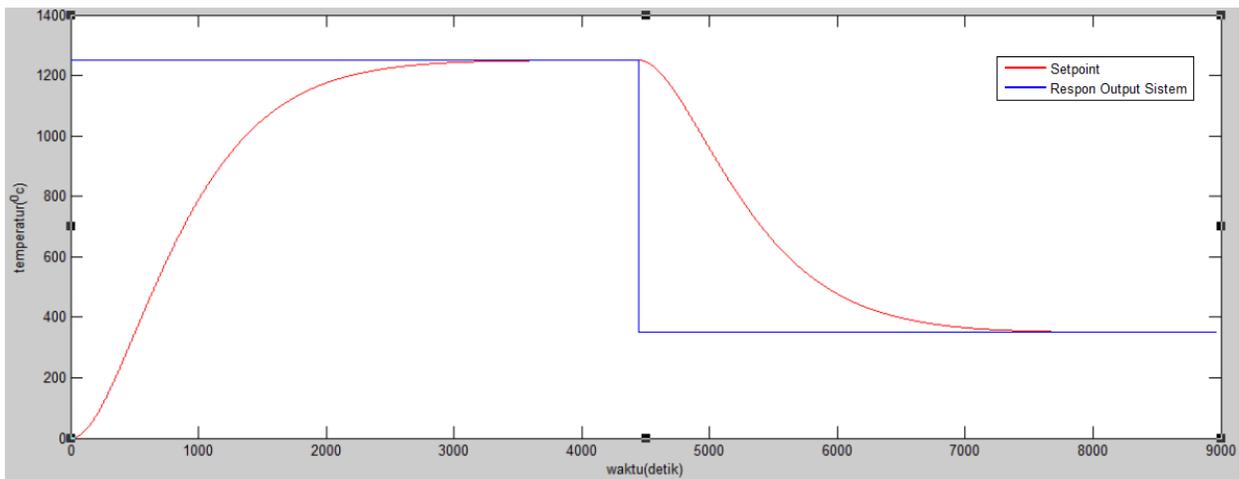
A. Annealing Lehr Untuk Heating dan Cooling Tanpa Kendali



Gambar 6. Respon *Output* Tanpa Kendali Untuk *Heating* Dan *Cooling*

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa respon *output* sistem tidak sesuai dengan *setpoint* yang diberikan yaitu untuk *heating* 1250°C dan untuk *cooling* 350°C sehingga diperlukan suatu kendali untuk mengatasinya.

B. Annealing Lehr Untuk Heating dan Cooling Dengan Kendali Adaptif STR-PID



Gambar 7. Respon *Output* Dengan Kendali Adaptif STR-PID Untuk *Heating* Dan *Cooling*

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa respon *output* sudah sesuai dengan *setpoint* yang diberikan yaitu yaitu untuk *heating* 1250°C dan untuk *cooling* 350°C, *error steady state* yaitu 0°C dan *overshoot* yaitu 0%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan analisa respon *output Annealing Lehr* menggunakan kendali STR-PID didapat hasil pengendalian *heating* yaitu *error steady state* = 0°C, dan *overshoot*= 0%, dan untuk pengendalian *cooling* yaitu *error steady state*= 0°C, dan *overshoot*= 0%. Sehingga dari hasil untuk proses *heating* dan proses *cooling* terbukti bahwa STR-PID mampu mengendalikan temperatur pada proses pembuatan kaca pada *Annealing Lehr* dengan baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih saya ucapkan kepada beberapa rekan yang telah membantu dalam menyelesaikan dan berkontribusi pada penelitian ini.

REFERENSI

- [1] A.Solihin. “Desain Kendali *Optimal Linear Quadratic Regulator (LQR)* Pada Sistem Pengendali Temperatur Di *Annealing Lehr* Untuk Proses Pembuatan Lembaran Kaca”. Jurusan Teknik Elektro. UIN Sultan Syarif Kasim Riau. 2018.
- [2] Sugiyarto. “Analisa Pengendalian Mutu Terjadinya *Defect* Pada Kaca Warna LN di PT. Mulia Glass Float Division”. *Department of Industrial Engineering Institute of Mercu Buana University*. Jakarta. 2007.
- [3] A.K.Singh and R.M.Solanki. “*Investigation of Fuel Saving in Annealing Lehr through Magnetic Material Fuel Saver*”. IJSR. 2013.
- [4] H.G.D Chandrakumara, and friends. “*Saving Energy Consumption in Glass Printing Lehr*”. EJAET. Srilanka. 2016.
- [5] I. Setiawan. “Kontrol PID Untuk Proses Industri”. Alex Media Komputindo. 2008.
- [6] A.Vireza, M.A.Muslim and G.D.Nugroho. “Identifikasi *Self Tuning PID* Kontroler Metode *Backward Rectangular* Pada Motor DC”. 2014.
- [7] H.Mudia. “Perancangan dan Implementasi Kontroler PID Adaptif pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga fasa”. ITS. 2015.
- [8] Suyanto and Miftahuddin. “Penerapan *PID Controller* Pada Sistem Pengendalian Temperatur Pada Proses Pembuatan Kaca Lembaran di PT. Asahimas *Flat Glass*, Tbk Sidoarjo”. Institut Teknologi Sepuluh November. 2009.
- [9] E.Iskandar “Sistem Pengaturan Adaptif”. ITS. 2012.
- [10] N.Gamayanti. “Dasar Sistem Pengaturan”. ITS. 2012.