

Makalah Seminar Tugas Akhir
Aplikasi Kendali Adaptif pada Pengendalian Plant Pengatur Suhu
dengan *Self Tuning Regulator (STR)*

Oleh :
Muhammad Fitriyanto
e-mail : D_13_N2k@yahoo.com

Aplikasi Kendali Adaptif pada Pengendalian Plant Pengatur Suhu dengan *Self Tuning Regulator (STR)*

Oleh :

Muhammad Fitriyanto / L2F 000 621

e-mail : D_13_N2k@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak - Dalam perancangan sistem plant pengatur suhu secara konvensional setting parameter kendali dilakukan untuk kondisi plant tertentu (beroperasi normal tanpa ada faktor luar yang mengganggu). Jika terjadi perubahan karakteristik plant karena faktor gangguan dengan parameter kendali yang sama akan mengakibatkan kinerja plant menjadi tidak optimal.

Dengan menggunakan sistem kendali adaptif pada sistem plant pengatur suhu, maka perubahan karakteristik plant karena faktor luar tersebut dapat segera ditangani. Sistem kendali adaptif merupakan sistem kendali yang dilengkapi dengan algoritma pembelajaran. Algoritma pembelajaran yang diberikan oleh sistem kendali adaptif akan mengatur parameter-parameter dari pengendali berdasarkan pada pasangan data input-output. Sistem kendali adaptif dapat memodifikasi karakteristik dari pengendali itu sendiri sebagai respon dari perubahan yang terjadi pada proses dan jenis dari gangguan-gangguan yang muncul.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa respon sistem pengatur suhu ini dapat mengikuti model dengan baik pada range nilai laju konvergensi antara 0.001 sampai 0.0001, sedangkan untuk range besar terjadi osilasi pada respon.

Kata kunci : *Self Tuning Regulator (STR)*, PID kendaliler, Laju konvergensi, Plant Pengatur Suhu

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah pendekatan dalam pengendalian plant yang parameter-parameternya tidak diketahui dapat dilakukan dengan menggunakan teknik kendali adaptif. Dengan teknik kendali adaptif maka parameter – parameter plant dan pengendali dapat diadaptasi sendiri oleh sistem dengan proses estimasi parameter ataupun mekanisme pengaturan. Parameter – parameter dari hasil estimasi ataupun mekanisme pengaturan dipakai untuk mengupdate parameter pengendali hingga tercapai keluaran sistem sesuai dengan referensi atau modelnya.

Pada tugas akhir ini mengaplikasikan teknik kendali adaptif dengan skema *Self Tuning Regulator (STR)* pada pengendalian plant pengatur suhu. Dengan sistem kendali ini, keluaran dari plant yang dikendalikan akan mengikuti referensi. Pengujian terhadap sistem dilakukan dengan pengujian pengaruh nilai laju konvergensi, pengujian referensi naik, pengujian referensi turun dan pemberian gangguan.

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah mengimplementasikan metode Teknik Kendali Adaptif model STR untuk mengatur plant pengatur suhu.

1.3 Batasan Masalah

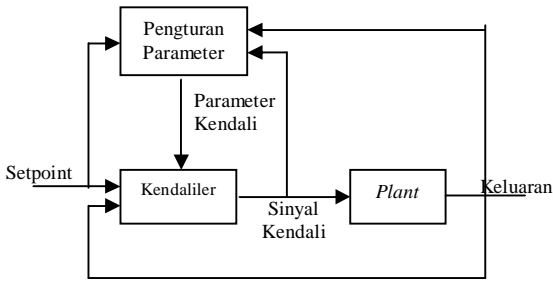
Dalam pembuatan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Teknik kendali yang digunakan adalah teknik kendali adaptif dengan menggunakan skema *Self-Tuning Regulator (STR)*.
2. Estimasi parameter-parameter plant menggunakan algoritma *Least-Mean Squares (LMS)*.
3. Perancangan pengendali dengan menggunakan metode penempatan pole (*Pole Placement*)
4. Plant yang dikendalikan adalah plant pengatur suhu
5. Karakteristik plant yang dikendalikan dianggap linier.
6. Range pengaturan yang diperbolehkan adalah 33 °C sampai dengan 100 °C
7. Pembuatan program dibantu dengan bantuan Visual Basic 6.0 dan perangkat antar muka (*interface Card*) PPI card 8255

II. DASAR TEORI

2.1 Teknik Kendali Adaptif

Teknik kendali adaptif merupakan teknik kendali yang dilengkapi dengan algoritma pembelajaran. Teknik kendali adaptif didefinisikan juga sebagai sistem kendali dimana parameter-parameternya dapat diatur dan juga memiliki mekanisme untuk mengatur parameter-parameter tersebut. Skema dari sistem kendali adaptif terdiri dari dua kalang. Kalang yang pertama adalah kalang umpan balik biasa dengan pengendali dan plant, sedang kalang kedua adalah kalang pengaturan parameter. Blok diagram dari sistem kendali adaptif ditunjukkan pada Gambar 1.

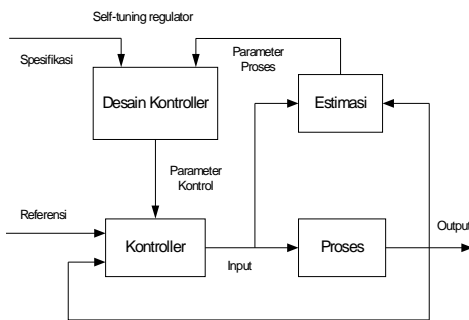


Gambar 1 Blok diagram sistem adaptif

Pada teknik kendali adaptif terdapat empat skema, yaitu *Gain Scheduling*, *Model-Reference Adaptive Control (MRAC)*, *Self-Tuning Regulator (STR)*, dan *Dual Control*.

2.2 Self-Tuning Regulator (STR)

Self-Tuning Regulator (STR) adalah salah satu skema teknik kendali adaptif, dimana parameter dari sistem diestimasi dan hasil estimasi parameter yang telah dihitung digunakan untuk mendapatkan parameter kontrol. Skema STR secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema dasar STR

Skema STR termasuk *indirect adaptive controller*. Pada *indirect adaptive controller*, estimasi dari parameter-parameter proses secara terus-menerus di-*update* dan parameter pengendali didapatkan dari solusi dengan menggunakan parameter yang diestimasi. Parameter pengendali diatur oleh kalang yang terdapat di bagian luar, yang terdiri dari blok estimasi parameter dan blok perhitungan desain pengendali. Pada skema STR, parameter pengendali atau parameter proses diestimasi secara *real-time*.

Parameter-parameter *plant* dari model diestimasi secara *on-line*, dan blok "Estimasi" pada Gambar 2 melaksanakan estimasi dari parameter-parameter proses. Blok ini adalah *estimator* yang bekerja secara rekursi. Blok "Desain Pengendali" melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mendesain pengendali. Blok "Pengendali" adalah implementasi pengendalian dengan parameter-

parameter yang didapatkan dari blok "Desain Pengendali."

Blok diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2 mempunyai banyak pilihan yang dapat digunakan untuk model dan struktur dari sistem kendali adaptif. Pada Tugas Akhir ini, proses akan diestimasi dengan menggunakan algoritma *Least-Mean Squares (LMS)* sedangkan untuk desain pengendali akan menggunakan metode penempatan *pole (Pole Placement)*.

2.3 Estimasi Menggunakan Algoritma Least-Mean Squares (LMS)

Pada blok "Estimasi", estimasi proses akan dilakukan dengan algoritma LMS. Pada sistem kendali adaptif estimasi dilakukan secara *real-time*, hal ini dapat dilihat adanya *estimator* parameter rekursif yang ditunjukkan secara eksplisit pada skema STR. Pada sistem kendali adaptif, parameter dari proses berubah secara kontinyu, sehingga diperlukan metode estimasi yang dapat meng-*update* parameter secara berulang-ulang, dan hal ini dapat dilakukan dengan metode LMS.

$$W_{k+1} = W_k - \mu \nabla_k \quad (1)$$

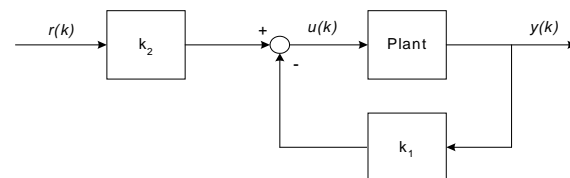
$$= W_k + 2\mu \varepsilon_k X_k$$

di mana μ adalah konstanta yang mempengaruhi kecepatan dan kestabilan pengadaptasian atau pembelajaran. Nilai μ sendiri berkisar antara 0 hingga 1 ($0 < \mu < 1$).

Setelah bobot-bobot parameter sudah diestimasi dengan algoritma LMS, maka bobot parameter-parameter dari model matematika diberikan pada blok "Desain Pengendali" yang kemudian diberikan pada blok "Pengendali." Metode yang digunakan pada blok "Pengendali" sendiri adalah metode penempatan *pole*.

2.4 Pengendali Menggunakan Metode Penempatan Pole (Pole Placement)

Metode penempatan *pole* adalah metode yang dapat digunakan sebagai pengendali. Ide dasar dari metode ini adalah menentukan besarnya nilai sinyal kendali untuk dikirim ke *plant* yang akan memberikan respon berdasar *pole* yang diinginkan. Blok diagram dari metode penempatan *pole* ditunjukkan pada Gambar 3



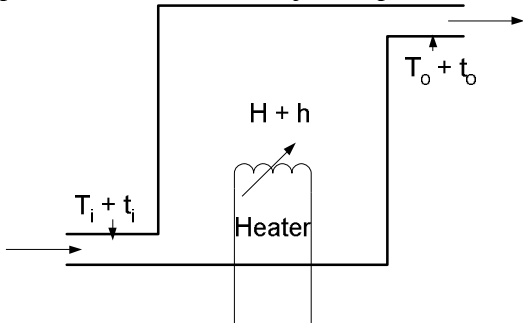
Gambar.3 Blok diagram metode penempatan *pole*.

Berdasar blok diagram pada Gambar.3, untuk mengendalikan keluaran $y(k)$ di titik nilai referensi $r(k)$, dapat dilakukan dengan menggunakan sinyal kendali yang didapatkan dengan menggunakan persamaan

$$u(k) = -k_1 \cdot y(k) + k_2 \cdot r(k) \quad (2)$$

2.6 Sistem Termal pada Plant Pengatur Suhu

Sistem termal pada *plant* pengatur suhu dengan menganggap bahwa kotak *plant* terisolasi sehingga rugi (kehilangan) kalor ke udara sekeliling dapat diabaikan, hal ini ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4 Sistem termal pada *plant* pengatur suhu

dari Gambar 4 dapat didefinisikan

T_i = Temperatur keadaan tunak udara masuk, °C

T = Temperatur keadan tunak udara keluar, °C

G = Laju aliran udara melalui ruang pemanas, kg/det

M = Udara yang ditampung dalam ruang pemanas, kg

C = kalor jenis udara, J/kg °C

R = Tahanan termal, °C/W

C = Kapasitansi termal dari udara yang dalam ruang pemanas= $Mc, J/°C$

H = masukan kalor keadaan tunak, W

Temperature udara masuk dianggap konstan dan masukan kalor tiba – tiba diubah dari H menjadi $H + h_i$ dimana h_i menyatakan perubahan kecil dari masukan kalor. Laju keluar kalor kemudian akan berubah perlahan – lahan dari H menjadi $H + h_o$. Akibatnya temperatur udara keluar akan berubah dari T_0 menjadi $T_o + t_o$.

Untuk kasus ini h_o , C dan R masing – masing diperoleh :

$$h_o = Gct_o \quad (3)$$

$$C = Mc \quad (4)$$

$$R = \frac{t_o}{h_o} = \frac{1}{Gc} \quad (5)$$

Persamaan diferensial yang melukiskan sistem ini adalah:

$$C \frac{dt_o}{dt} = h_i - h_o \quad (6)$$

yang dapat ditulis kembali sebagai

$$RC \frac{dt_o}{dt} + t_o = Rh_i \quad (7)$$

RC merupakan konstanta waktu sistem, fungsi alih yang merelasikan θ dan h_i diberikan sebagai:

$$\frac{T_o(s)}{H_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1}$$

$$\frac{T_o(s)}{H_i(s)} = \frac{1/C}{s + 1/RC} \quad (8)$$

III. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Pengendali Adaptif STR

Sebelum dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem plant pengatur suhu dengan teknik kendali adaptif, maka terlebih dahulu dirumuskan persamaan yang akan digunakan pada blok “Estimasi” dan blok “Pengendali”, maka dapat diketahui bahwa bobot (*weight*) parameter-parameter proses yang akan diperbarui adalah bobot parameter $(\frac{1}{C}T)$ dan

bobot parameter $(1 - \frac{1}{RC}T)$. Jadi jika direpresentasikan ke dalam persamaan $y_k = X_k^T W_k = W_k^T X_k$, persamaannya adalah

$$t_o(k+1) = \left[\left(1 - \frac{1}{RC}T\right) \left(\frac{1}{C}T\right) \right]^T \begin{bmatrix} t_o(k) \\ h_i(k) \end{bmatrix} \quad (9)$$

sehingga

$$\text{bobot } A = \left(1 - \frac{1}{RC}T\right)$$

$$= \left(\frac{RC - T}{RC}\right) \quad (10)$$

$$\text{bobot } B = \left(\frac{1}{C}T\right) \quad (11)$$

Maka persamaan (9) dan (1) menjadi

$$t_o(k+1) = \begin{bmatrix} A & B \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} t_o(k) \\ h_i(k) \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}_k + 2 \mu \varepsilon_k \begin{bmatrix} t_o(k) \\ h_i(k) \end{bmatrix}_k$$

di mana

$$\varepsilon_k = \omega(k+1) - \omega_m(k+1) \quad (13)$$

sedangkan untuk blok “Pengendali”, dari persamaan (2), (10) dan (11) didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
t_0(k+1) &= \left(1 - \frac{1}{RC}T\right) \cdot t_0(k) + \left(\frac{1}{C}T\right) \cdot h_i(k) \\
&= \left(1 - \frac{1}{RC}T\right) \cdot t_0(k) - \left(\frac{1}{C}T\right)k_1 t_0(k) + \left(\frac{1}{C}T\right)k_2 \cdot h_i(k) \\
&= \left(1 - \frac{1}{RC}T - \left(\frac{1}{C}T\right)k_1\right) t_0(k) + \left(\frac{1}{C}T\right)k_2 \cdot h_i(k) \\
&= \left(1 - \frac{1+Rk_1}{RC}T\right) t_0(k) + \left(\frac{1}{C}T\right)k_2 \cdot h_i(k) \quad (14)
\end{aligned}$$

Jika *pole* yang diinginkan terletak pada $z = a_m$, maka persamaan keadaan yang diinginkan sebagai berikut.

$$t_0(k+1) = a_m \cdot t_0(k) + b_m \cdot h_i(k) \quad (15)$$

dari persamaan (14) dan (15) maka didapatkan

$$a_m = 1 - \frac{1+Rk_1}{RC}T$$

$$b_m = \left(\frac{1}{C}T\right)k_2$$

sehingga

$$k_1 = \frac{RC(1-a_m) - T}{RT} \quad (16)$$

$$k_2 = \frac{Cb_m}{T}$$

Pada perancangan ini, *pole* yang diinginkan ditentukan $a_m = 0$ dan $b_m = 1$, sehingga

$$k_1 = \frac{RC - T}{RT} \quad (17)$$

$$k_2 = \frac{C}{T}$$

karena

$$\text{bobot } A = \left(1 - \frac{1}{RC}T\right)$$

$$\text{bobot } B = \left(\frac{1}{C}T\right)$$

jadi

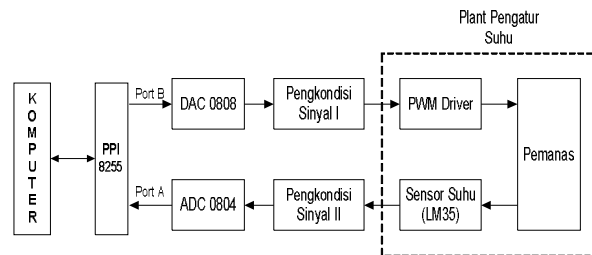
$$\begin{aligned}
k_1 &= \frac{RC - T}{RT} \\
&= \frac{RC - T}{RT} \times \frac{1/RC}{1/RC} \\
&= \frac{1 - \frac{1}{RC}T}{\frac{1}{C}T} \\
k_1 &= \frac{A}{B} \quad (18)
\end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
k_2 &= \frac{C}{T} \\
&= \frac{1}{B} \quad (19)
\end{aligned}$$

3.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Secara umum sistem pengatur suhu yang akan dibuat ditunjukkan oleh diagram blok pada Gambar 5.



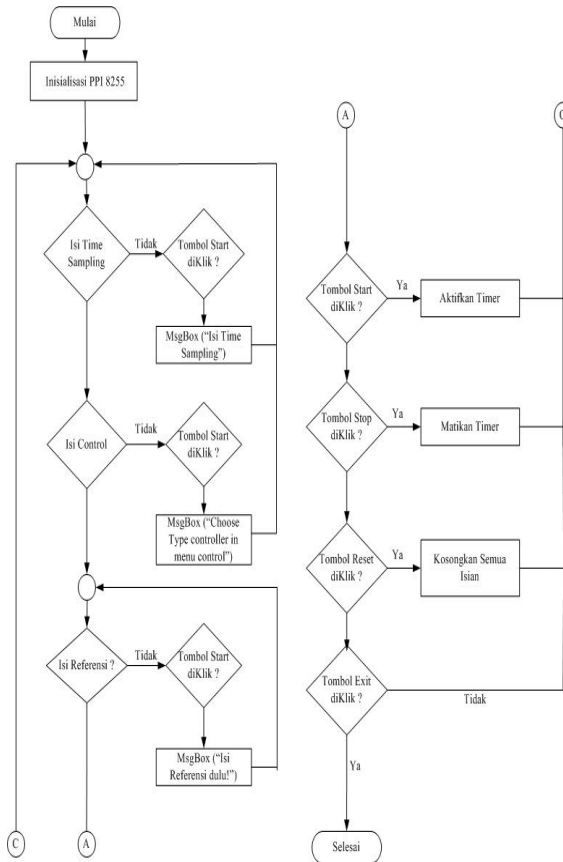
Gambar 5 Diagram blok sistem pengatur suhu

Rangkaian DAC 0808 berfungsi untuk mengubah data digital berupa sinyal kendali hasil pengolahan data dari komputer menjadi data analog berupa tegangan yang akan dikirimkan ke *plant*. Pengkondisi sinyal I berfungsi untuk mengubah level tegangan keluaran DAC 0808 dari 0 – 5 Volt menjadi level tegangan -5 – 5 Volt. Level tegangan ini digunakan sebagai masukan *driver* PWM. Pengkondisi sinyal II berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran sensor suhu LM35. Batas maksimal keluaran sensor adalah 1.5 V pada suhu 150 °, sedangkan referensi ADC adalah 5 Volt sehingga diperlukan penguatan sebesar $5 / 1.5 = 3.33$ kali. Rangkaian ADC 0804 digunakan untuk mengubah besaran analog dari pengkondisi sinyal II ke data digital sehingga dapat diolah di komputer. PPI 8255 digunakan sebagai antar muka (*interface*) untuk aliran data dari ADC ke komputer atau dari komputer ke DAC. *Plant* suhu dirancang dengan menggunakan *driver* PWM untuk mengatur besarnya daya yang dialirkan ke pemanas. Untuk mengukur besarnya suhu yang terjadi digunakan sensor suhu LM35 yang mempunyai karakteristik keluaran 10 mV / ° C. Komputer digunakan sebagai unit kendaliler untuk mengaplikasikan algoritma kendali adaptif skema MRAC. Disamping itu, komputer juga digunakan untuk menampilkan grafik respon dan menyimpan data ke file untuk keperluan analisis.

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pada pembuatan perangkat lunak (*software*) bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa pemrograman Visual Basic 6.0. Perangkat lunak ini

berfungsi untuk melakukan aksi kendali adaptif berdasarkan algoritma *Model STR*, serta melakukan monitoring terhadap respon *plant* pengatur suhu. *Flow chart* program utama pengendalian *plant* pengatur suhu dengan teknik kendali adaptif skema STR ditunjukkan pada Gambar 6.

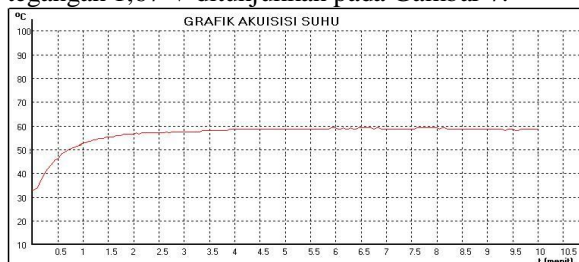


Gambar 6 *Flowchart* program utama pengendalian *plant* suhu

Pada perangkat lunak pengendalian *plant* pengatur suhu dengan *STR* ini, semua perhitungan untuk menentukan nilai - nilai parameternya berupa keluaran model, *error*, dan parameter - parameter kendalnya dilakukan pada prosedur *timer1*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Untuk mengetahui respon sistem secara *open loop* dengan memberikan masukan referensi tegangan tertentu. Respon sistem dengan masukan tegangan 1,67 V ditunjukkan pada Gambar 7.

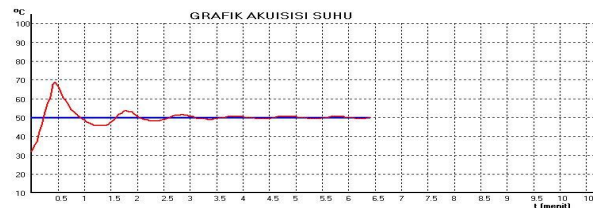


Gambar 7 Respon *plant* referensi 1,67 V

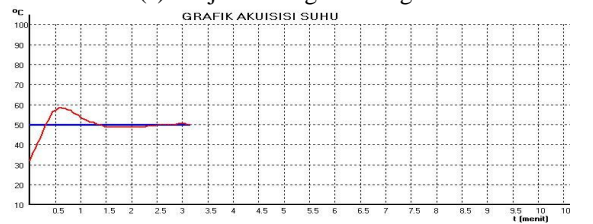
Dari respon dapat diketahui nilai konstanta waktu (τ), pada saat suhu keluaran sebesar 0,632 dari suhu keluaran stabilnya. Secara perhitungan, nilai konstanta waktu (τ) adalah pada saat suhu keluarannya $(0,632 \times (58,82 - 33,52)^\circ \text{C}) + 33,52^\circ \text{C} = 49,51^\circ \text{C}$. Dari data yang diperoleh, konstanta waktu pada saat suhu $49,51^\circ \text{C}$ tersebut sebesar 39 detik. Selanjutnya pada pengujian dilakukan dengan memberikan nilai konstanta waktu model lebih kecil dari konstanta waktu respon kalang terbuka

4.1 Pengujian dan Analisis Pengaruh Perubahan Laju Konvergensi

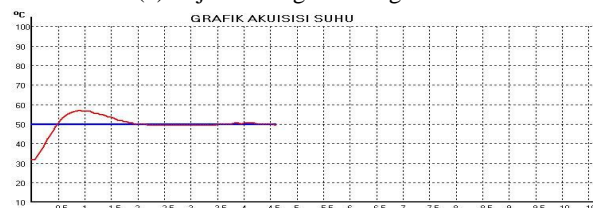
Pada pengujian ini digunakan nilai laju konvergensi 0.01, 0.002, 0.001, 0.0002, dan 0.0001 pengujian dilakukan sebelum parameter bobot diperbarui dan sesudah parameter bobot diperbaharui. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 8



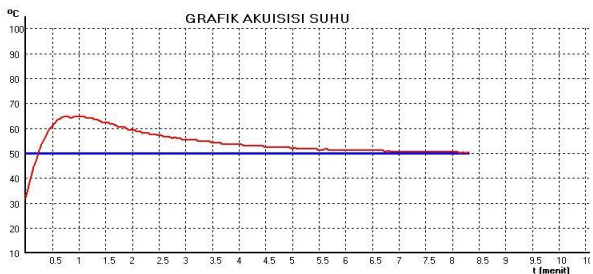
(a) Laju konvergensi dengan nilai 0.01



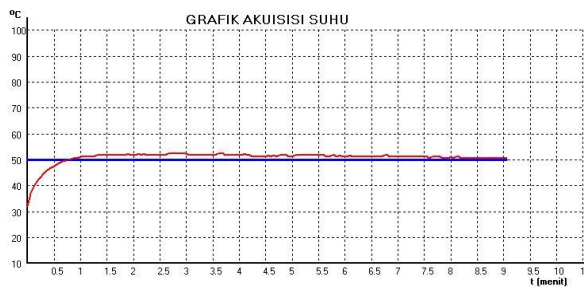
(b) Laju konvergensi dengan nilai 0.002



(c) Laju konvergensi dengan nilai 0.001



(d) Laju konvergensi dengan nilai 0.0002



(e) Laju konvergensi dengan nilai 0.0001

Gambar 8 Respon sistem terhadap perubahan laju konvergensi

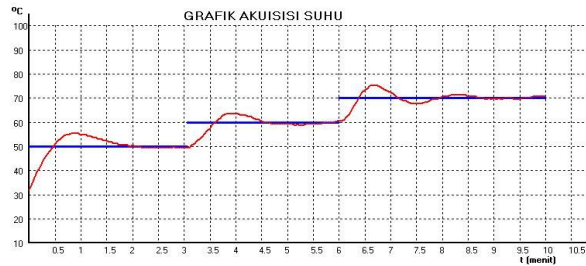
Pada pengujian terlihat respon sistem berjalan lambat serta waktu keadaan tunak (*steady state*) lama pada nilai laju konvergensi 0.0002 dan 0.0001 dan terjadi *over estimated* pada nilai laju konvergensi 0.01. Hal ini sesuai dengan teori bahwa jika nilai laju konvergensi terlalu kecil, maka pembelajaran akan berlangsung relatif lama sedangkan jika terlalu besar, bobot yang diperbaharui akan mengalami *over estimated*, sehingga hal ini akan mempengaruhi dinamika keluaran plant pengatur suhu yang dikendalikannya. Untuk pengujian dengan range nilai laju konvergensi antara 0.001 sampai dengan 0.0001 respon sistem dapat mengikuti referensi dengan baik, sehingga dapat dikatakan respon plant pengatur suhu baik untuk nilai laju konvergensi 0.001 sampai dengan 0.0001.

Dari grafik hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa untuk setiap respon awal terjadi osilasi di sekitar referensi, sehingga teknik kendali adaptif memerlukan waktu sekitar 01 – 02 menit untuk mencapai keadaan tunak (*steady-state*) dan juga memiliki *overshoot*. Adanya osilasi di sekitar referensi dikarenakan blok estimasi dari teknik kendali adaptif masih berusaha untuk mendapatkan bobot parameter-parameter proses yang tepat untuk mewakili proses yang sedang dikendalikan. Karena parameter-parameter proses yang diestimasi belum tepat mewakili proses yang sedang dikendalikan, hal ini mengakibatkan parameter-parameter kendali yang ditentukan berdasar parameter-parameter proses juga belum tepat. Sehingga sinyal kendali yang dikirim ke plant pengatur suhu masih belum tepat pada referensi yang diberikan. Setelah mengalami proses pembelajaran sistem kendali adaptif akan dapat menentukan bobot dari parameter-parameter proses dengan tepat. Sehingga sinyal kendali yang dikirim ke plant pengatur suhu juga tepat pada referensi yang diberikan.

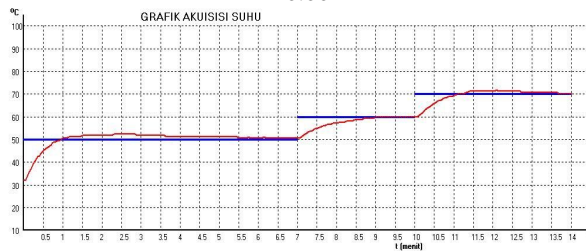
4.2 Pengujian dengan Referensi Berubah naik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti perubahan

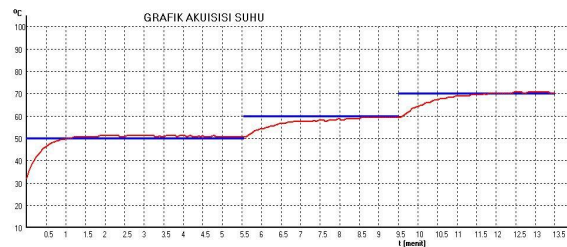
referensi yang berubah naik, dengan nilai perubahan mulai 50°C, 60°C, 70°C. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 9 :



(a) Respon sistem naik dengan nilai laju konvergensi 0.001



(b) Respon sistem naik dengan nilai laju konvergensi 0.0002



(c) Respon sistem naik setelah dengan nilai laju konvergensi 0.0001

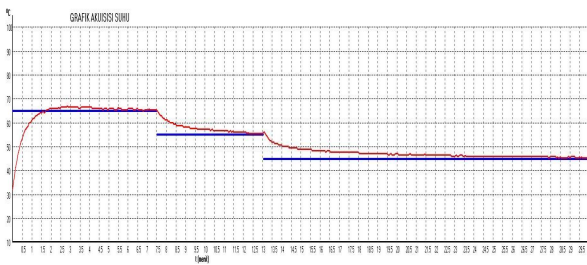
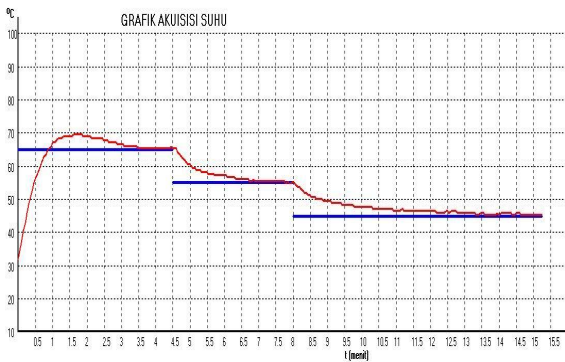
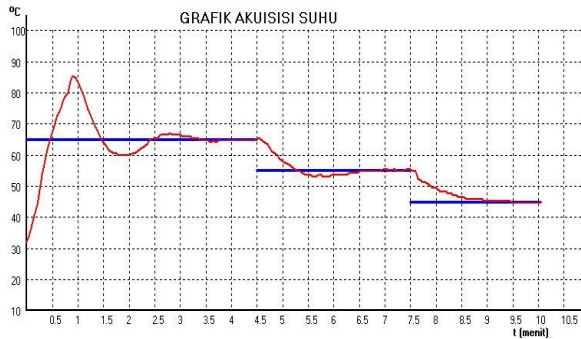
Gambar 9 Respon sistem terhadap referensi berubah naik

Dari respon sistem diatas terlihat respon sistem dengan nilai laju konvergensi 0.001, terlihat adanya osilasi pada respon awal dan *overshoot* ketika referensi dinaikkan. Hal ini dikarenakan masukan referensi merupakan salah parameter yang digunakan untuk memperbarui parameter kendali, disamping kesalahan dan keluaran sistem, sehingga *update* parameter kendali mengalami *over shoot* pada referensi tinggi. Namun jika pada referensi tinggi dipilih nilai laju konvergensi yang kecil, akan mengurangi terjadinya osilasi pada respon keluaran sistem. Hal ini dapat ditunjukkan pada nilai laju konvergensi 0.0002 dan 0.0001 yang tidak terlihat adanya osilasi pada respon awal dan relatif lebih cepat mengikuti referensi ketika referensi dinaikkan, hal ini terlihat dengan waktu yang lebih kecil untuk mencapai keadaan *steady-state*, hal ini dikarenakan pada saat referensi awal, parameter kendali awal yang diperbarui merupakan parameter inisialisasi. Sedangkan ketika referensi dinaikkan parameter kendali telah mengalami

algoritma pembelajaran sehingga respon dapat mengikuti referensi dengan baik.

4.3 Pengujian Referensi Berubah Turun

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti perubahan referensi yang berubah turun, dengan nilai perubahan mulai 65°C – 55°C – 45°C . Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 10



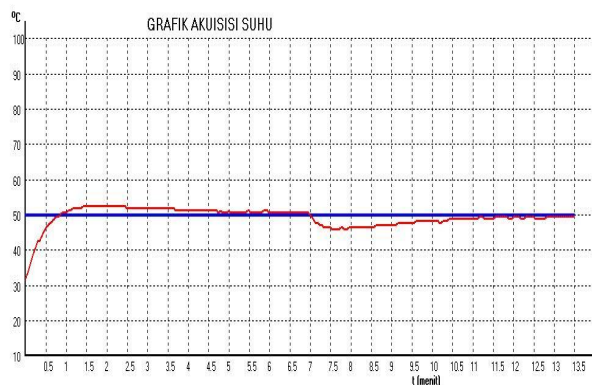
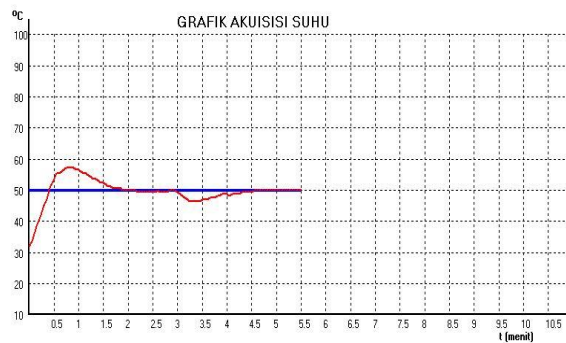
Gambar 10 Respon sistem terhadap referensi berubah turun

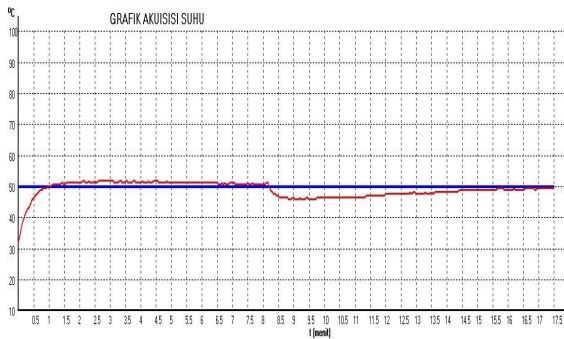
Dari respon sistem sebelum parameter bobot diperbarui terlihat adanya *overshoot* dan respon sistem yang berjalan lambat ketika suhu referensi diturunkan, tapi setelah parameter bobot diperbarui hampir tidak terlihat *over shoot* untuk nilai laju konvergensi 0.0002 dan 0.0001 dan waktu

yang dibutuhkan untuk *steady-state* relatif lebih cepat. Pada pengujian ini terlihat ketika suhu referensi diturunkan waktu yang dibutuhkan untuk *steady-state* relatif lama dibandingkan dengan ketika suhu dinaikkan hal ini dikarenakan besar suhu referensi mempengaruhi laju pembelajaran parameter kendalinya, sehingga untuk referensi kecil laju pembelajaran semakin lambat, perbedaan nilai laju konvergensi juga berpengaruh pada respon penurunan suhu, dimana semakin besar nilai laju konvergensi respon sistem semakin cepat mengikuti referensi.

4.4 Pengujian dengan Gangguan

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kehandalan sistem adaptif dalam mengatasi gangguan dari luar, pengujian dilakukan dengan memberikan referensi 50°C , setelah respon sistem mencapai referensi, sistem akan diberi gangguan dengan cara menyalakan kipas yang akan menyerap udara keluar sehingga suhu plant akan turun. Dari pengujian dengan variasi nilai laju konvergensi ditunjukkan pada Gambar 11





(c) Respon sistem terhadap gangguan dengan nilai laju konvergensi 0.0002

Gambar 11 Respon sistem terhadap gangguan

Dari respon sistem terlihat bahwa ketika diberi gangguan respon sistem akan mengalami penurunan, namun secara adaptif sistem dapat mengatasi gangguan yang diberikan dan sistem akan kembali mengikuti referensi. Pada pengujian dengan gangguan, nilai laju konvergensi akan mempengaruhi besarnya penurunan suhu dan kemampuan sistem kendali adaptif untuk beradaptasi atau mengatasi gangguan, dimana semakin besar nilai laju konvergensi maka penurunan suhu semakin kecil dan waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke referensi juga semakin kecil, hal ini dapat dijelaskan bahwa untuk nilai laju konvergensi yang besar laju pembelajaran terhadap perubahan parameter semakin cepat, dengan adanya gangguan yang menyebabkan *error* antara keluaran model dan sistem akan semakin cepat dieliminasi dengan konsekuensi akan terjadi lonjakan sebelum mencapai referensi, namun secara umum dapat dikatakan sistem kendali adaptif mempunyai keandalan dalam mengatasi gangguan dibandingkan dengan sistem kendali konvensional.

V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis dapat disimpulkan hal – hal penting sebagai berikut :

1. Algoritma *least-mean squares* (LMS) sebagai *estimator* dan metode penempatan *pole* (*pole placement*) sebagai pengendali dapat digunakan pada plant pengatur suhu dengan teknik kendali adaptif menggunakan skema *self-tuning regulator* (STR).
2. Sistem Kendali Adaptif model *Self Tuning Regulator* (STR) dapat mengadaptasi parameter kendali sistem pengatur suhu dengan baik untuk range nilai laju konvergensi 0.001 sampai 0.0001.
3. Pemilihan nilai laju konvergensi sangat mempengaruhi respon sistem, semakin besar nilai laju konvergensi maka respon

sistem akan beresilasi disekitar referensi sedangkan semakin kecil nilai laju konvergensi akan menghasilkan respon sistem yang lambat dalam mengikuti referensi

4. Sistem adaptif mempunyai kehandalan dalam mengatasi dan mengeliminasi gangguan dari luar.

5.2 Saran

Agar sistem ini yang didapat lebih baik lagi, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Algoritma untuk estimasi dan pengontrolan dapat diganti dengan algoritma yang lain, seperti IIR-LMS atau *Recursive Least-Square* (RLS) untuk estimasi dan PID untuk pengontrolan yang dapat memberikan respon dan stabilitas sistem yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bernard Widrow and Samuel D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., 1985.
2. Astrom, K.J. and B. Wittenmark, *Adaptive Control*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1995
3. Ogata, Katsuhiko, *Discrete-time Control Systems*, Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
4. Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kendali Otomatik, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1991.
5. Benjamin C. Kuo, *Teknik Kendali Automatik, Jilid I*, Prenhallindo, Jakarta, 1995
6. Ario Suryo Kusumo, *Buku Latihan Microsoft Visual Basic 6.0*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2000
7. Pamungkas, *Tip&Trik Microsoft Visual Basic 6.0*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2000

BIOGRAFI

Muhammad Fitriyanto lahir 23 tahun lalu dikota Semarang, lulus dari SMUN 3 Semarang pada tahun 2000. Saat ini sedang menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro pada konsentrasi Kendali.

Mengetahui/Mengesahkan,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Wahyudi, ST. MT.
NIP. 132 086 662

Iwan Setiawan, ST. MT.
NIP. 132 283 183

