

# SIMULASI PENGENDALIAN *SHELL HEAVY OIL FRACTIONATOR* (SHOF) MENGGUNAKAN METODE KONTROL ADAPTIF

Sela Martasia<sup>\*)</sup>, Budi Setiyono dan Wahyudi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: *selamrts@gmail.com*

## Abstrak

*Shell Heavy Oil Fractionator* (SHOF) adalah suatu kolom distilasi atau yang disebut juga fraksinasi yang digunakan untuk memisahkan *heavy oil* mentah menjadi produk-produk yang diinginkan berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing produk tersebut. Perancangan kendali pada SHOF memiliki beberapa kendala yang disebabkan oleh *non-linearitas* pada proses, interaksi multivariabel, waktu tunda (*dead time*) yang panjang, dan gangguan. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan suatu metode kontrol yang mampu mengendalikan respon sistem untuk pengoptimalan sistem SHOF sehingga keluaran komposisi produk sesuai dengan yang diharapkan. Kontroler tersebut digunakan untuk mengendalikan *valve* pada kolom fraksinasi SHOF dengan tiga masukan dan tiga keluaran yang telah didekoping. Metode kontrol adaptif *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin merupakan beberapa jenis metode kontrol yang mampu mengendalikan *plant* multivariabel dengan fungsi alih FOPDT. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, rata-rata IAE terkecil yang diperoleh pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) tanpa dan dengan gangguan sebesar 21,46 dan 101,78 dengan kontroler *autotuning* umpan balik *relay* sedangkan pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) diperoleh rata-rata IAE terkecil tanpa dan dengan gangguan sebesar 9,19 dan 37,66 dengan kontroler *autotuning* umpan balik *relay*.

*Kata kunci: SHOF, dekoping, relay, autotuning, Dahlin*

## Abstract

Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF) is a of distillation column type used to separate crude oil into desired products based on the difference in the boiling point of each product. The design of control on SHOF has several constraints, it caused by non-linearity of the process, multivariable interactions, long dead time, and disturbances. It needs a control method that is able to control system response to optimization of SHOF system so the output of product composition as expected. The controller specifically for controlling the valves on the SHOF with three inputs and three outputs that has been decoupled. Autotuning relay feedback and Dahlin algorithm control method are some types of modern control methods that are capable of controlling multivariable plants with FOPDT transfer function. Based on the tests, the smallest IAE average at top end point composition ( $Y_1$ ) with disturbance and no disturbance of 101.78 and 21.46 with autotuning relay feedback controller, at side end point composition ( $Y_2$ ) obtained the smallest IAE average with disturbance and no disturbance of 37.66 and 9.19 with autotuning of the relay feedback controller.

*Keywords: SHOF, decoupling, relay, autotuning, Dahlin*

## 1. Pendahuluan

*Shell Heavy Oil Fractionator* (SHOF) adalah suatu kolom distilasi atau yang disebut juga fraksinasi yang digunakan untuk memisahkan *heavy oil* mentah menjadi produk-produk yang diinginkan berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing produk tersebut. Pada pengolahan minyak, sistem yang digunakan adalah kolom distilasi kontinyu secara *reflux* (redistilasi) sehingga didapatkan hasil cairan dengan kadar presentase yang akurat. Dengan mempelajari prinsip kerja, mendapatkan sifat statik dan dinamik proses kolom distilasi maka dapat diperoleh model dari kolom distilasi tersebut sehingga dapat dilakukan analisis dan simulasi untuk pengoptimalan

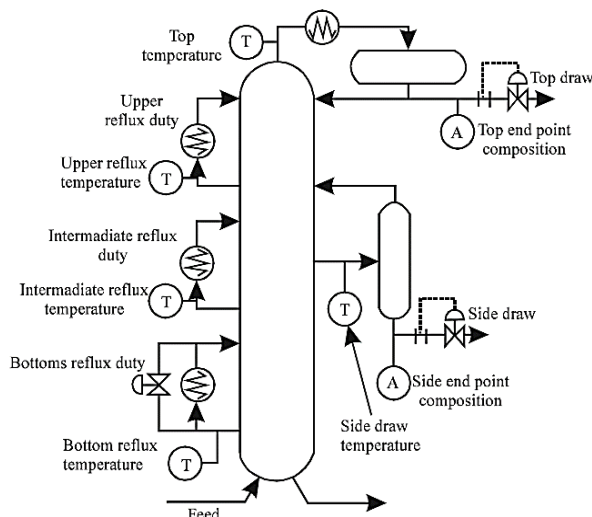
sistem SHOF [1]. Perancangan kontroler pada SHOF dengan memiliki *non-linearitas* pada proses, interaksi multivariabel, adanya waktu tunda (*dead time*) yang panjang pada keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan *side end point composition* ( $Y_2$ ), serta adanya gangguan maka dibutuhkan suatu metode kontrol yang mampu mengendalikan respon sistem untuk pengoptimalan sistem SHOF sehingga keluaran komposisi produk sesuai dengan yang diharapkan. Kontroler tersebut digunakan untuk mengendalikan *valve* pada kolom fraksinasi SHOF dengan tiga masukan dan tiga keluaran yang telah didekoping. Beberapa penelitian dan pengembangan sistem SHOF pengendalian kolom distilasi agar memiliki akurasi yang tinggi dan kinerja yang efisien telah dilakukan, beberapa diantaranya menggunakan metode kontrol *proportional-integral-derivative* (PID) [2], *model*

predictive control (MPC) [3], gain scheduling control [4], dan sistem kontrol genetic-fuzzy [5]. Beberapa metode kontrol yang diketahui dapat digunakan untuk fungsi alih *First Order Plus Dead Time (FOPDT)* pada keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan *side end point composition* ( $Y_2$ ), yaitu *autotuning* umpan balik *relay* dari pengembangan *Ziegler Nichols* yang kedua dan algoritma Dahlin. sedangkan untuk persamaan orde satu pada keluaran *bottom reflux temperature* ( $Y_3$ ) dapat menggunakan PI untuk proses orde satu tanpa *delay time*. Hasil dari kontrol adaptif *autotuning* umpan balik *relay* pada keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan *side end point composition* ( $Y_2$ ) akan dibandingkan dengan metode kontrol yang algoritma Dahlin karena dua kontroler tersebut dapat digunakan untuk fungsi alih FOPDT. Pada keluaran *bottom reflux temperature* ( $Y_3$ ) menggunakan metode kontrol PI untuk proses orde satu tanpa *delay time*. Analisis perbandingan kinerja sistem kontrol adaptif *autotuning* umpan balik *relay* dengan kontrol algoritma Dahlin pada keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan *side end point composition* ( $Y_2$ ) dilihat berdasarkan nilai IAE.

## 2. Metode

### 2.1 Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF)

Heavy oil (minyak berat) terdiri dari empat komponen kompleks yakni Asphaltenes, Resins, Aromatics, dan Saturates dengan presentase berat masing-masing 14,1%, 37,3%, 37,2%, 11,4% [6]. Teknik proses yang digunakan untuk mendapatkan produk-produk heavy oil dapat dilakukan dengan metode pemisahan secara fisis atau kimia. Dalam pembahasan ini memanfaatkan metode pemisahan secara fisis, yaitu pemisahan heavy oil dan produk-produknya berdasarkan perbedaan titik didih dari masing-masing produk yang diinginkan. Pemisahan heavy oil secara fisis ini memanfaatkan kolom distilasi yang dalam industri pengolahan minyak biasanya disebut sebagai kolom fraksinator, seperti pada Gambar 1 [7].



Gambar 1. Diagram skematik aliran proses SHOF.

Gambar 1 menunjukkan skematis dari SHOF. Heavy oil fractionator dicirikan dengan tiga draw dan tiga loop sirkulasi samping. Uap panas kolom masuk dengan feed, yang mana merupakan aliran gas. Selanjutnya di dalam fraksinator heavy oil diproses untuk mendapatkan tiga jenis produk yang dialirkan pada sisi kanan fraksinator bagian atas, tengah, dan bawah dengan satuan alirannya kmol/menit. Spesifikasi produk untuk bagian atas dan tengah ditentukan berdasarkan nilai ekonomis serta pengoperasian atau pengendaliannya, sedangkan produk untuk bagian bawah spesifikasinya tidak ditentukan, tapi ada kendala operasi pada suhu di bagian bawah kolom.

Top endpoint, side endpoint, dan bottom reflux temperature merupakan variabel yang dikontrol, sedangkan top draw, side draw, dan bottom reflux duty merupakan variabel yang dimanipulasi. Gangguan-gangguan masuk ke sistem melalui intermediate reflux duty (diasumsikan terukur) dan upper reflux duty (dianggap tidak terukur) [1]. Persamaan model plant SHOF yang akan digunakan ditunjukkan oleh persamaan (2) [1].

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.05e^{-27s} & 1.77e^{-28s} & 5.88e^{-27s} \\ 50s+1 & 60s+1 & 50s+1 \\ 5.39e^{-18s} & 5.72e^{-14s} & 6.90e^{-15s} \\ 50s+1 & 60s+1 & 40s+1 \\ 4.38e^{-20s} & 4.42e^{-22s} & 7.20 \\ 33s+1 & 44s+1 & 19s+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1.20e^{-27s} & 1.44e^{-27s} \\ 45s+1 & 40s+1 \\ 1.52e^{-15s} & 1.83e^{-15s} \\ 25s+1 & 20s+1 \\ 1.14 & 1.26 \\ 27s+1 & 32s+1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pada plant SHOF sebenarnya memiliki ketentuan-ketentuan pada kontrol objektif (tujuan) dan kontrol kendala [7]. Berikut merupakan kontrol objektif dari plant SHOF:

1. Menjaga top end point composition dan side end point composition pada  $0,0 \pm 0,005$  pada keadaan steady.
2. Mencapai offset steady state pada top end point composition dan side end point composition kurang dari 0,5 untuk yang diberikan gangguan step upper reflux duty dan intermediate reflux duty.
3. Memaksimalkan uap dalam generator uap di refluks sirkulasi bawah, yaitu dengan meminimalkan bottom reflux duty.
4. Menolak gangguan masukan kolom dari upper reflux duty dan intermediate reflux duty karena merubah ketentuan panas dari kolom lain. upper reflux duty dan intermediate reflux duty berkisar antara -0,5 sampai 0,5.

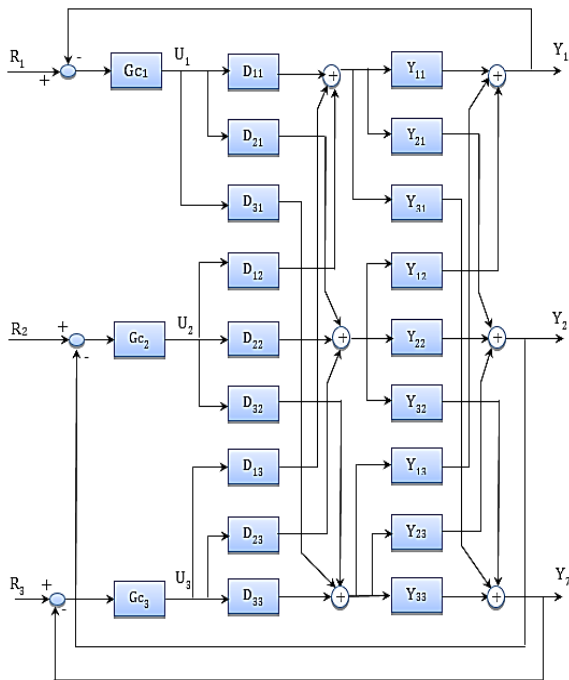
Untuk kontrol kendala pada plant SHOF adalah sebagai berikut:

1. Top draw, side draw, dan Bottom reflux duty memiliki range antara -0,5 sampai 0,5.
2. Top end point composition, side end point composition, dan Bottom reflux temperature harus

dipertahankan nilai maksimum dan minimumnya antara -0,5 sampai 0,5.

2.2 Multivariable Decoupling Control SHOF

Salah satu pendekatan yang populer untuk mengatasi interaksi kontrol loop dalam sistem multivariable adalah merancang skema pengontrolan yang tidak berinteraksi satu sama lain (decoupling). Tujuan utama dari decoupling adalah untuk menghilangkan efek interaksi antar loop tertutup dengan menggunakan compensation network atau decoupler. Fungsi dari decoupler adalah mendekomposisi suatu multivariabel proses ke dalam sub-sistem loop tertutup yang independent [8], [9]. Struktur pengontrolan SHOF dengan dekoupling ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Multivariable decoupling system SHOF.

Pada sistem SHOF, orde yang digunakan merupakan orde tinggi, yaitu 3x3. Oleh karena itu, untuk menentukan pasangan-pasangan variabel masukan dan keluaran digunakan perhitungan relative gain array orde tinggi. Perhitungan RGA pada sistem MIMO 3x3 dilakukan dengan mengambil gain steady state dari sistem SHOF. Apabila fungsi alih setiap proses sistem MIMO 3x3 dalam bentuk FOPDT maka gain steady state sistem adalah K, seperti pada persamaan (3).

$$K = \begin{bmatrix} 4,05 & 1,77 & 5,88 \\ 5,39 & 5,72 & 6,90 \\ 4,38 & 4,42 & 7,20 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Cara memperoleh nilai RGA pada MIMO 3x3, dapat dihitung menggunakan persamaan (4) [10].

$$\Lambda = K_{ij} \otimes H_{ij} = K \otimes (K^{-1})^T$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 4,05 & 1,77 & 5,88 \\ 5,39 & 5,72 & 6,90 \\ 4,38 & 4,42 & 7,20 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 0,5125 & -0,4118 & -0,0590 \\ 0,6353 & 0,1633 & -0,4867 \\ -1,0274 & 0,1798 & 0,6535 \end{bmatrix}$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 2,08 & -0,73 & -0,35 \\ 3,42 & 0,94 & -3,36 \\ -4,50 & 0,79 & 4,71 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dimana denotasi schur product  $\otimes$  merupakan bentuk perhitungan perkalian langsung masing-masing element pada matriks, seperti pada persamaan (5).

$$K_{ij} \otimes H_{ij} = K_{ij}H_{ij} \quad (5)$$

Berdasarkan hasil perhitungan RGA pada persamaan (4) dan ketentuan pairing rule yaitu memilih pasangan diagonal serta menghindari pasangan negatif pada elemen RGA steady state sehingga dapat ditentukan bahwa struktur kontrol yang dipilih pada sistem SHOF adalah struktur kontrol 1-1/2-2/3-3 sistem dengan nilai decoupler  $D_{11} = D_{22} = D_{33} = 1$ .

Setelah diperoleh pasangan variabel masukan dan keluaran SHOF serta nilai  $D_{11}, D_{22}, D_{33}$  maka dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai-nilai decoupler lainnya. Pada perhitungan elemen dekoupling pada sistem SHOF masing-masing fungsi alih G (s) dilakukan pendekatan dengan masing-masing nilai gain K serta mengabaikan efek waktu tunda [9]. Berdasarkan persamaan dekoupling maka diperoleh nilai-nilai decoupler sebagai berikut:

$$D_{21} = \frac{G_{33} \cdot G_{21} - G_{31} \cdot G_{23}}{G_{33} \cdot G_{32} - G_{33} \cdot G_{22}} = \frac{8,586}{-10,686} = -0,80348119 \quad (6)$$

$$D_{31} = \frac{G_{31} \cdot G_{22} - G_{21} \cdot G_{32}}{G_{23} \cdot G_{32} - G_{33} \cdot G_{22}} = \frac{-1,2298}{10,686} = -0,1150852 \quad (7)$$

$$D_{12} = \frac{G_{12} \cdot G_{33} - G_{13} \cdot G_{32}}{G_{13} \cdot G_{31} - G_{11} \cdot G_{33}} = \frac{-13,2456}{-3,4056} = 3,8893587 \quad (8)$$

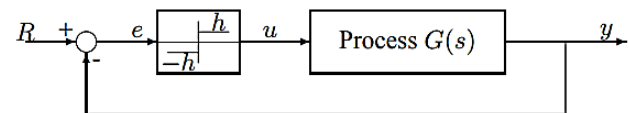
$$D_{32} = \frac{G_{32} \cdot G_{11} - G_{12} \cdot G_{31}}{G_{13} \cdot G_{31} - G_{11} \cdot G_{33}} = \frac{10,1484}{-3,4056} = -2,9799154 \quad (9)$$

$$D_{13} = \frac{G_{13} \cdot G_{22} - G_{12} \cdot G_{23}}{G_{12} \cdot G_{21} - G_{11} \cdot G_{22}} = \frac{-21,4206}{13,6257} = -1,57207336 \quad (10)$$

$$D_{23} = \frac{G_{23} \cdot G_{11} - G_{13} \cdot G_{21}}{G_{12} \cdot G_{21} - G_{11} \cdot G_{22}} = \frac{-3,7482}{-13,6257} = 0,27508311 \quad (11)$$

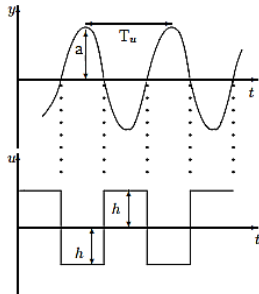
2.3 Autotuning Metode Umpan Balik Relay

Autotuning metode umpan balik relay dikenal juga dengan nama Autotuning metode respon frekuensi atau metode siklus terbatas (limit cycle). Metode autotuning umpan balik relay merupakan pengembangan dari metode penalaan kedua Ziegler Nichols, yang mana penggunaan nilai gain proporsional sebagai gain ultimate untuk memperoleh keluaran grafik osilasi secara konstan digantikan dengan nilai gain ultimate Ku menggunakan relay [11]. Diagram blok autotuning umpan balik relay sebagai sistem kontrol ditunjukkan pada Gambar 3 [12].



Gambar 3. Blok diagram umpan balik relay.

Prinsip dasar metode ini adalah adanya batas nilai perioda proses osilasi, jika dikendalikan menggunakan metode *loop* tertutup dengan *relay* sebagai sistem kontrol. Sinyal masukan dan keluaran yang diperoleh dengan sinyal kontrol ( $u$ ), ditunjukkan oleh Gambar 4 [12].



Gambar 4. Magnitude dan perioda osilasi output proses.

Proses osilasi yang terdapat pada Gambar 4 dapat dijelaskan sebagai berikut. Sinyal masukan berupa gelombang persegi dengan frekuensi  $\omega_u$ . Sinyal masukan dapat dijabarkan menggunakan deret *Fourier* melalui penjumlahan gelombang sinus dengan frekuensi  $\omega_u$ ,  $3\omega_u$ , dan seterusnya. Karena bentuk gelombang sinyal keluaran mendekati sinyal sinusoida, maka proses tersebut melemahkan harmonik-harmonik sinyal masukan. Bila *magnitude* gelombang persegi adalah  $h$ , maka komponen dasar gelombang memiliki amplitudo sebesar  $4h/\pi$ . Pendekatan bahwa harmonik-harmonik yang lebih tinggi dari harmonik dasar dapat diabaikan, menyebabkan keluaran proses berupa gelombang sinusoida dengan frekuensi  $\omega_u$  dan amplitudo sesuai persamaan (12) [11].

$$a = \frac{4h}{\pi} |G(j\omega_u)| \quad (12)$$

Osilasi dapat terjadi bila sinyal keluaran melalui titik ketika nilai *step* adalah nol saat relay berpindah posisi. Selain itu, komponen dasar dari sinyal keluaran dan masukan harus memiliki fase yang berlawanan, sehingga kondisi yang harus dipenuhi agar osilasi dapat terjadi adalah sesuai persamaan (13) dan persamaan (14) [11].

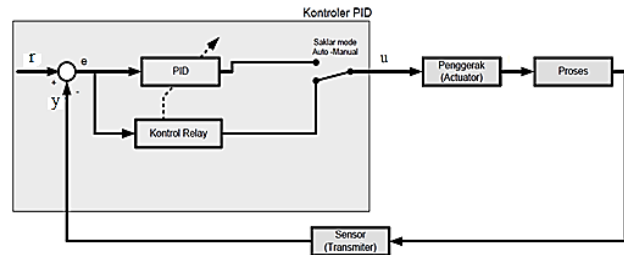
$$\arg G(j\omega_u) = -\pi \quad (13)$$

$$|G(j\omega_u)| = \frac{a\pi}{4h} = \frac{1}{Ku} \quad (14)$$

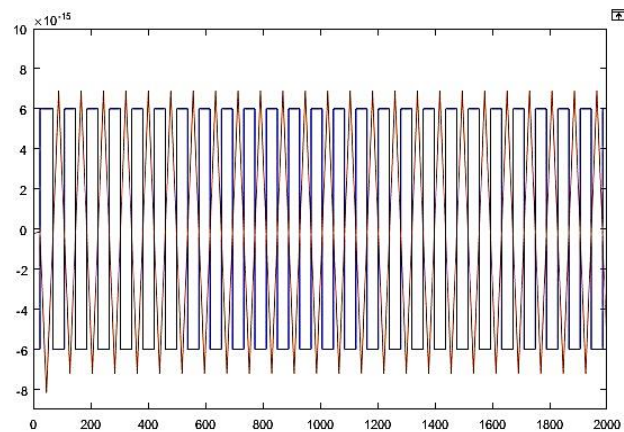
dengan  $Ku$  sebagai penguatan ekuivalen dari *relay* selama pengiriman sinyal sinusoida dengan amplitudo  $a$ . Parameter  $Ku$  disebut juga *ultimate gain*. Penguatan ini membawa sistem dengan fungsi alih  $G(s)$  ke dalam batas kestabilan di bawah kontrol proporsional murni. Periode  $Tu = 2\pi/\omega_u$  umumnya disebut juga periode besar. Berdasarkan persamaan (14) maka dapat diperoleh nilai  $Ku$  sesuai persamaan (15).

$$Ku = \frac{4h}{\pi a} \quad (15)$$

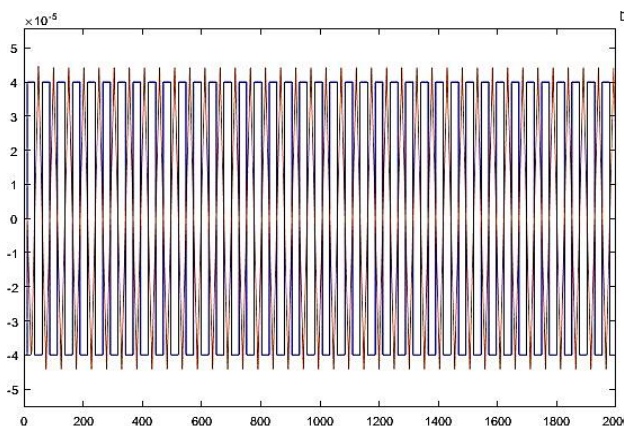
Secara teknis, untuk identifikasi nilai *gain ultimate* ( $Ku$ ) dan perioda osilasi proses ( $Tu$ ) pada metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dilakukan dengan menambahkan nilai *magnitude relay* pada rangkaian blok diagram umpan balik *relay* yang terdapat pada Gambar 5 dari 0 sampai ditemukan hasil grafik osilasi konstan sebagai akibat pengontrolan umpan balik *relay* dengan masukkan referensi bernilai 0. Selanjutnya, dilakukan perhitungan parameter kontrol PI dengan menggunakan metode *tuning Ziegler Nichols 2* yang terdapat pada persamaan (18) sampai persamaan (21) berdasarkan nilai  $Ku$  pada persamaan (16) dan persamaan (17) serta nilai  $Tu$ . Ilustrasi mengenai metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dapat dilihat pada Gambar 5 [13] sedangkan hasil grafik keluaran *relay* dan keluaran *plant* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Struktur Kontroler Adaptif pada Plant SHOF.



Gambar 6. Magnitude dan perioda osilasi output  $Y_1$ .



Gambar 7. Magnitude dan perioda osilasi output  $Y_2$ .

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 diperoleh nilai h, a, dan Tu yang diperoleh masing-masing yaitu pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) sebesar  $6 \times 10^{-15}$ ,  $7,11 \times 10^{-14}$ , dan 80,85305 serta pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) sebesar  $4 \times 10^{-5}$ ,  $4,3306 \times 10^{-5}$ , dan 50,3283. Berdasarkan nilai h, a, dan Pu tersebut dapat diperoleh nilai Ku serta Kp dan Ki dengan menggunakan metode *ziegler nichols 2*. Berikut merupakan cara untuk memperoleh nilai Ku, Kp, dan Ki:

$$K_{u1} = \frac{4h}{\pi a} = \frac{4(6 \times 10^{-15})}{\pi(7,11 \times 10^{-15})} = 1,0745 \quad (16)$$

$$K_{u2} = \frac{4h}{\pi a} = \frac{4(4 \times 10^{-5})}{\pi(4,3306 \times 10^{-5})} = 1,17604 \quad (17)$$

$$K_{p1} = 0,4K_{u1} = 0,4(1,0745) = 0,4297855 \quad (18)$$

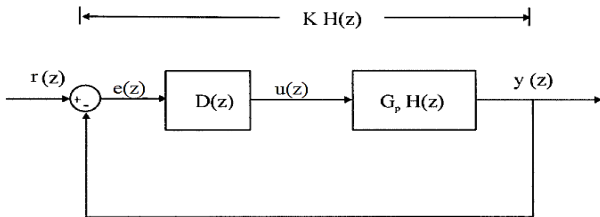
$$K_{i1} = \frac{K_{p1}}{T_{i1}} = \frac{K_{p1}}{0,8P_{u1}} = \frac{0,4297855}{0,8(80,85305)} = 0,00664455 \quad (19)$$

$$K_{p2} = 0,4K_{u2} = 0,4(1,17604) = 0,470654 \quad (20)$$

$$K_{i2} = \frac{K_{p2}}{T_{i2}} = \frac{K_{p2}}{0,8P_{u2}} = \frac{0,470654}{0,8(50,3283)} = 0,01169 \quad (21)$$

## 2.4 Algoritma Kontrol Dahlin

Pada tahun 1968, Dahlin menyarankan untuk merancang kontroler umpan balik respon *close loop* yang memiliki fungsi alih FOPDT. Kunci untuk pendekatan Dahlin adalah penggunaan model proses secara eksplisit dalam persamaan yang dibuat. Blok diagram pada kontroler Dahlin dapat dilihat pada Gambar 8 [14].



Gambar 8. Diagram blok Kontroler Dahlin.

Dahlin menyatakan bahwa fungsi alih *close loop* yang diinginkan adalah berupa FOPDT seperti pada persamaan berikut:

$$K(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{e^{-\theta r s}}{\tau s + 1} \quad (22)$$

$$H(s) = \frac{1 - e^{-T s}}{s} \quad (23)$$

$$KH(z) = Z \left[ \frac{1 - e^{-T s}}{s} \frac{e^{-\theta r s}}{\tau s + 1} \right] \quad (24)$$

$$Z \left[ \frac{1 - e^{-T s}}{s} \frac{K e^{-\theta r s}}{\tau s + 1} \right] = \frac{K(1 - \delta)z^{-n-1}}{1 - \delta z^{-1}} \quad (25)$$

$$nT = \theta_r \quad (26)$$

dengan  $T = 1$ , serta  $\delta = e^{-T/\tau_r}$ .

$$KH(z) = \frac{(1 - e^{-T/\tau_r})z^{-n-1}}{1 - e^{-T/\tau_r}z^{-1}} = \frac{D(z)G_pH(z)}{1 + D(z)G_pH(z)} \quad (27)$$

dengan persamaan FOPDT  $G_p(z)$  merupakan sebagai berikut:

$$G_pH(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (28)$$

$$A(z^{-1}) = 1 - \delta z^{-1} \quad B(z^{-1}) = (1 - \delta)z^{-n-1} \quad (29)$$

Berdasarkan persamaan (27) dapat diperoleh nilai  $D(z)$  dengan menggunakan persamaan (30).

$$D(z) = \frac{KH(z)}{1 - KH(z)G_pH(z)} \quad (30)$$

Pada persamaan (27) disubstitusi ke persamaan (30) sehingga persamaan kontroler Dahlin menjadi:

$$D(z) = \frac{(1 - e^{-T/\tau_r})z^{-n-1}}{(1 - e^{-T/\tau_r}z^{-1}) - (1 - e^{-T/\tau_r})z^{-n-1}} \frac{1}{G_pH(z)} \quad (31)$$

$$D(z) = \frac{(1 - e^{-T/\tau_r})z^{-n-1}}{(1 - z^{-1})(1 + (1 - e^{-T/\tau_r})z^{-1} + \dots + (1 - e^{-T/\tau_r})z^{-n})} \frac{1}{G_pH(z)} \quad (31)$$

Bentuk lain persamaan (31) adalah sebagai berikut [15]:

$$D(z) = \frac{U(z^{-1})}{E(z^{-1})} = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} \quad (32)$$

$$P(z^{-1}) = (1 - z^{-1})(1 + (1 - \delta)z^{-1} + \dots + (1 - \delta)z^{-n}) \quad (33)$$

$$Q(z^{-1}) = q_0 + q_1z^{-1} + \dots + q_mz^{-m} \quad (34)$$

Berdasarkan persamaan (32) maka dapat ditentukan persamaan sinyal kontrol dalam bentuk,

$$U(z) = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} E(z) \quad (35)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (33) dan persamaan (34) ke dalam persamaan (35) maka perhitungan keluaran sinyal kontrol menjadi,

$$u(k) = q_0e(k) + q_1e(k-1) + \dots + q_me(k-m) + (1 - \delta)u(k-1) + \dots + (1 - \delta)u(k-n) \quad (36)$$

Berikut hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan kontroler Dahlin:

1. *Dead time close loop*  $\theta_r$ , harus sama atau lebih besar daripada *dead time* proses yang sebenarnya.
2. Waktu konstan *close loop*  $\tau_r$  dapat digunakan sebagai *tuning* parameter.

Berdasarkan persamaan (1) disubstitusi ke persamaan (25) dan persamaan (26) sehingga diperoleh nilai dari  $G_pH(z)$  pada masing-masing keluaran SHOF.

$$\begin{aligned} \theta_{Y1} &= nT \\ 27 &= n \cdot 1 \\ n &= 27 \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \theta_{Y2} &= nT \\ 14 &= n \cdot 1 \\ n &= 14 \end{aligned} \quad (38)$$



$$G_{Y1}H(z) = \frac{4.05(1-e^{-1/50})z^{-27-1}}{1-e^{-1/50}z^{-1}} = \frac{0,0802z^{-28}}{1-0,9802z^{-1}} \quad (39)$$

$$G_{Y2}H(z) = \frac{5,72(1-e^{-1/60})z^{-14-1}}{1-e^{-1/60}z^{-1}} = \frac{0,0945z^{-15}}{1-0,98347z^{-1}} \quad (40)$$

Setelah diperoleh persamaan (39) dan persamaan (40), maka dapat diperoleh persamaan  $D(z)$  yang akan digunakan sebagai sistem kontrol SHOF pada persamaan (31). Pada keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ), persamaan (30) disubstitusikan ke persamaan (31) dengan  $\tau_r = 23$  sehingga diperoleh fungsi alih  $D_1(z)$  sebagai berikut:

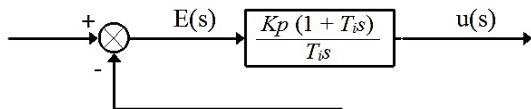
$$D_1(z) = \frac{0,53051-0,52z^{-1}}{(1-z^{-1})(1+(0,0351z^{-1})+(0,0351z^{-2})+\dots+(0,0351z^{-27}))} \quad (41)$$

Pada keluaran *side end point composition* ( $Y_2$ ), persamaan (40) disubstitusikan ke persamaan (31) dengan  $\tau_r = 15$  sehingga diperoleh fungsi alih  $D_2(z)$  sebagai berikut:

$$D_2(z) = \frac{0,6825-0,67122z^{-1}}{(1-z^{-1})(1+(0,0645z^{-1})+(0,0645z^{-2})+\dots+(0,0645z^{-14}))} \quad (42)$$

### 2.5 Kontroler Proporsional Integral (PI)

Kontroler PI merupakan gabungan dari dua macam kontroler, yaitu kontroler proporsional dan integral. Kontrol PI biasanya digunakan untuk pengontrolan proses yang memiliki dinamika relatif cepat dan banyak digunakan untuk proses di industri karena permasalahan yang terjadi dapat diatasi secara maksimal hanya dengan kontroler PI. Diagram blok kontroler PI dapat dilihat pada Gambar 9 [13].



Gambar 9. Diagram blok Kontroler PI.

Pada penelitian ini, untuk menentukan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  pada keluaran *bottom reflux temperature* ( $Y_3$ ) digunakan perhitungan parameter kontrol PI untuk proses orde satu tanpa *delay time* dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_p = \frac{T}{T_{cl}K} \quad (42)$$

$$T_i = T \quad (43)$$

Nilai  $T_{cl}$ ,  $T$ , dan  $K$  yang digunakan pada percobaan ini bernilai 0,1, 3,183, dan 1,53 sehingga diperoleh nilai  $K_{p3}$  dan  $K_{i3}$  sebesar 20,80392 dan 6,535948.

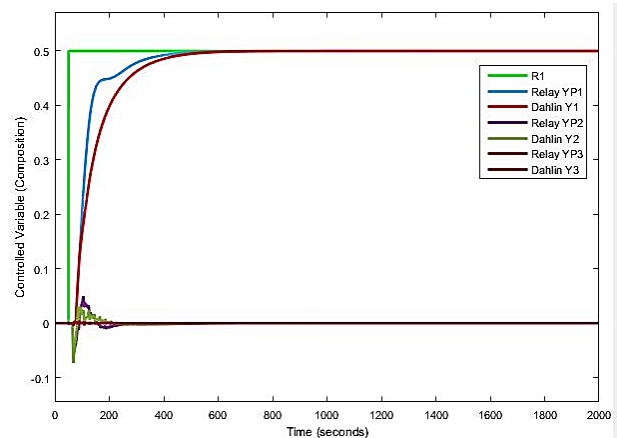
### 3. Hasil dan Analisis

Pengujian dilakukan dengan asumsi model sempurna tanpa gangguan dan asumsi model sempurna dengan gangguan. Pada asumsi model sempurna tanpa gangguan, pengujian dilakukan dengan mengubah *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) dan *side endpoint composition* ( $Y_2$ )

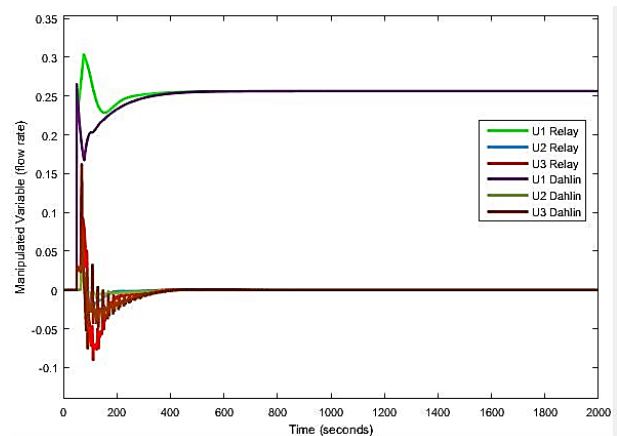
menjadi +0,5. Pada asumsi model sempurna yang disertai gangguan, pengujian dilakukan dengan memberikan *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) dan *side endpoint composition* ( $Y_2$ ) sebesar 0,0 serta *input step* pada *Intermediate Reflux Duty* ( $d_1$ ) dan *Upper Reflux Duty* ( $d_2$ ) masing-masing sebesar +0,5.

### 3.1 Pengujian Asumsi Model Sempurna Tanpa Gangguan

Pengujian pada bagian ini dilakukan dengan menaikkan *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) dari 0,0 ke 0,5 tanpa mengubah *set point side endpoint composition* ( $Y_2$ ) dan menaikkan *set point side endpoint composition* ( $Y_2$ ) dari 0,0 ke 0,5 tanpa mengubah *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ). Pada pengujian kenaikan *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) dari 0,0 ke 0,5 tanpa mengubah *set point side endpoint composition* ( $Y_2$ ), respon keluaran sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 10 sedangkan respon masukan sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 10. Respon keluaran SHOF dengan kenaikan *set point*  $Y_1 +0,5$ .

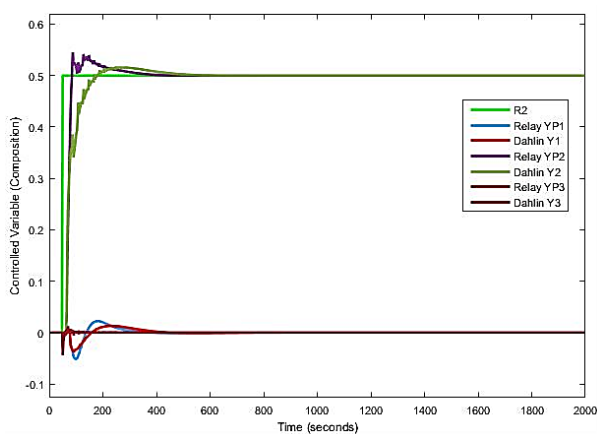


Gambar 11. Respon keluaran SHOF dengan kenaikan *set point*  $Y_1 +0,5$ .

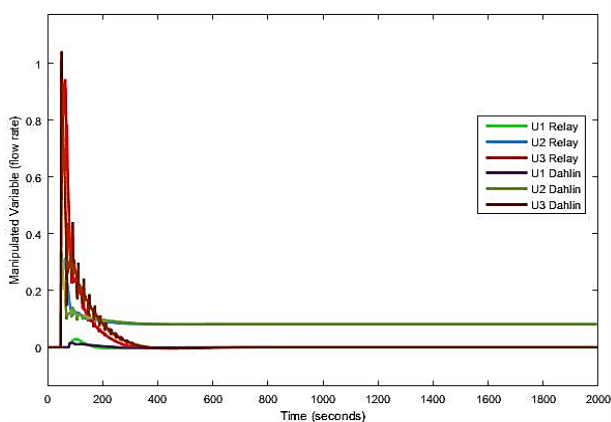
Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa kontroler *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin

mampu mengikuti perubahan *set point* pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan mampu mempertahankan *set point side end point composition* ( $Y_2$ ). Selain itu, laju aliran *top draw* ( $u_1$ ) dan *side draw* ( $u_2$ ) pada Gambar 11 memberikan hasil grafik yang tidak melebihi batas maksimum 0,5 dan batas minimum  $-0,5$ . Nilai IAE pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) diperoleh sebesar 38,57 dan 52,39 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin sedangkan pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) diperoleh nilai IAE sebesar 2,93 dan 2,48 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin.

Pada pengujian kenaikan *set point side endpoint composition* ( $Y_2$ ) dari 0,0 ke 0,5 tanpa mengubah *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) respon keluaran sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 12 sedangkan respon masukan sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 13.



Gambar 12. Respon keluaran SHOF dengan kenaikan *set point*  $Y_2 +0,5$ .



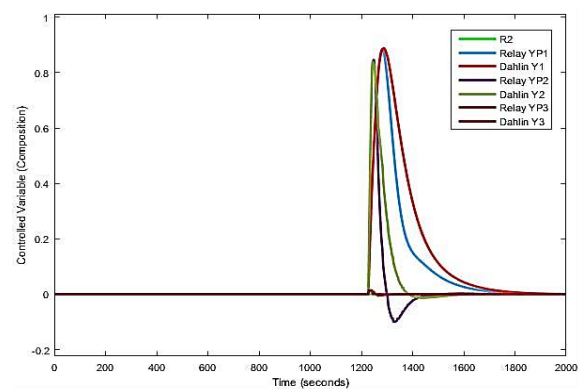
Gambar 13. Respon keluaran SHOF dengan kenaikan *set point*  $Y_2 +0,5$ .

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa kontroler *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin mampu mengikuti perubahan *set point* pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) dan mampu mempertahankan *set point top end point composition* ( $Y_1$ ). Selain itu, laju aliran *top*

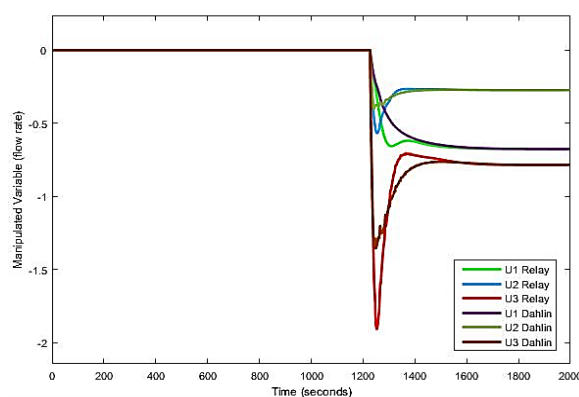
*draw* ( $u_1$ ) dan *side draw* ( $u_2$ ) pada Gambar 13 memberikan hasil grafik yang tidak melebihi batas maksimum 0,5 dan batas minimum  $-0,5$ . Nilai IAE pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) diperoleh sebesar 4,35 dan 3,93 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin sedangkan pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) diperoleh nilai IAE sebesar 15,45 dan 20,09 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin.

### 3.2 Pengujian Asumsi Model Sempurna dengan Gangguan

Pengujian pada bagian ini dilakukan dengan mengatur *set point top endpoint composition* ( $Y_1$ ) dan *side endpoint composition* ( $Y_2$ ) pada detik ke-50 masing-masing sebesar 0,0. Pada detik ke 1200 diberikan masukan gangguan *Intermediate reflux duty* ( $d_1$ ) dan *upper reflux duty* ( $d_2$ ) masing-masing sebesar  $+0,5$ . Simulasi dijalankan dalam waktu 2000 detik. Grafik keluaran sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 14 sedangkan untuk grafik masukan sistem SHOF ditunjukkan oleh Gambar 15.



Gambar 14. Respon  $Y_1$  SHOF dengan SP  $+0,5$  dan gangguan  $+0,5$ .



Gambar 15. Respon  $U_1$  SHOF dengan SP  $+0,5$  dan gangguan  $+0,5$ .

Berdasarkan grafik respon keluaran sistem SHOF pada Gambar 14, dapat dilihat bahwa kontroler *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin untuk keluaran *top end point composition* ( $Y_1$ ) dan *side end point composition*

( $Y_2$ ) mampu mencapai *set point* dan meredam gangguan. Selain itu, laju aliran *side draw* ( $u_2$ ) memberikan hasil grafik yang sangat baik, tidak melebihi batas maksimum 0,5 dan batas minimum  $-0,5$  sedangkan laju aliran *top draw* ( $u_1$ ) memberikan unjuk kerja yang kurang baik, yang mana melebihi batas minimum  $-0,5$ . Nilai IAE pada *top end point composition* ( $Y_1$ ) diperoleh sebesar 101,78 dan 138,24 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin sedangkan pada *side end point composition* ( $Y_2$ ) diperoleh nilai IAE sebesar 37,66 dan 49,36 dengan menggunakan metode kontrol *autotuning* umpan balik *relay* dan algoritma Dahlin.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh uji coba yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kontroler *autotuning* umpan balik *relay* memiliki nilai IAE terkecil dan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan kontroler Dahlin. Pada *top end point composition* ( $Y_1$ ), nilai rata-rata IAE terkecil yang diperoleh tanpa gangguan dan dengan gangguan sebesar 21,46 dan 101,78 sedangkan pada *side end point composition* ( $Y_2$ ), nilai rata-rata IAE terkecil yang diperoleh tanpa gangguan dan dengan gangguan sebesar 9,19 dan 37,67.

#### Referensi

- [1] C. E. Garcia and D. M. Pratt, *Fundamental Process Control*. 1988.
- [2] J. A. E. Luthvi, I. Setiawan, and B. Setiyono, "Analisis dan Simulasi Shell Heavy Oil Fractionator ( SHOF ) Menggunakan Metode Kontrol PID," *Transmisi*, vol. 13, no. 4, pp. 114–120, 2011.
- [3] S. B. Purba, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Desain Model Predictive Control (MPC) Pada Shell Heavy Oil Fractionator (SHOF)," *Transient*, vol. 2, no. 3, pp. 1–8, 2013.
- [4] D. O. Araromi and A. A. Sulayman, "Gain Scheduling Control Design for Shell Heavy Oil," *Int. J. Energy Environ. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 13–28, 2015.
- [5] M. Safitri, A. Triwiyatno, and Wahyudi, "Perancangan Sistem Kontrol Genetic-Fuzzy Studi Kasus Pada Pengendalian Top And Side End Point Composition dan Bottom Refluksi Temperature Pada Distillation Column," *Transmisi*, vol. 14, no. 3, pp. 85–90, 2012.
- [6] P. Gateau, I. Hénaut, L. Barré, and J. F. Argillier, "Heavy Oil Dilution," *Oil Gas Sci. Technol. – Rev. IFP*, vol. 59, no. 5, pp. 503–509, 2004.
- [7] R. M. Ansari and M. O. Tadé, *Nonlinear Model-based Process Control Applications in Petroleum Refining*, 1st ed. London: Springer, 2000.
- [8] S. Skogestad and I. Postlethwaite, *Multivariable feedback control: analysis and design*, 2nd ed., vol. 8, no. 14. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [9] M. T. Tham, "Multivariable control: An Introduction to Decoupling Control," *Univ. Newcastle upon Tyne, Newcastle upon Tyne*, vol. 1999, no. May, 1999.
- [10] D. E. Seborg, T. F. Edgar, and D. A. Mellichamp, *Process Dynamics and Control*, 2nd ed. United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [11] K. J. Åström and B. Wittenmark, *Adaptive Control*. New York: Dover Publications, Inc., 2008.
- [12] C.-C. Yu, *Autotuning of PID Controllers - A Relay Feedback Approach*. Springer, 2006.
- [13] I. Setiawan, *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta, Indonesia: PT. Elex Media Komputindo, 2008.
- [14] B. Roffel and B. H. Betlem, *Advanced Practical Process Control*. Netherlands: Springer, 2003.
- [15] J. M. Vladimír Bobál, Joseph Böhm, Jaromír Fessler, *Digital self-tuning controllers: algorithms, implementation and applications*, 1st ed. London: Springer-Verlag, 2005.