

PEMODELAN SISTEM LEVEL AIR *HEAD TANK* MENGUNAKAN PENGENDALI PID PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI HIDRO MERASAP

Ihdina Nurkarima¹⁾, Hendro Priyatman²⁾, Budi Kurniawan³⁾

Control Systems Laboratory, Engineering Faculty, Tanjungpura University

e-mail: ihdinanurkarima@yahoo.com¹⁾, priyatmanhendro@rocketmail.com²⁾, budi_lim0802@ymail.com³⁾

ABSTRACT

Mini-hydro power plant is a micro power plant that utilizes the river flow as its energy generator. Size of the power generated from the plant is affected by the capacity of the water in the head tank. Head tank served as a container of water in the reservoir end of the plant which supplies water to spin turbines rapidly through the penstock. Less precised control of water level in the head tank can result in less optimum work of the system to fulfill electric power capacity required at the plant. The purpose of this research is to design an automatic water level control system in order to fulfill the load on the generator using PID controller. In this design, the method used for PID controller tuning parameters is the quarter amplitude decay method and compared with Ziegler-Nichols oscillation method. This method was chosen because it could produce a better system than the method of trial and error. Simulations were performed by using Matlab 7.6 software to get graphs of stability and transition response, and steady state response at the system. The results showed that the system could reach the setpoint, that was 6 meter high, with the controller parameter values $K_p = 1390$. System specifications consist of obtained based on that controller parameters, with system response in form of step function, consist of maximum overshoot M_p 35,1%, rising time t_r 0.178 seconds and settling time t_s 1.49 seconds. Based on the values acquired, it was concluded that the system had a better performance with PID controller.

Keywords : mini-hydro power plant, head tank, water level, PID controller, quarter amplitude decay method, Ziegler-Nichols method

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik menggunakan tenaga air sangat cocok diterapkan di Indonesia. Hal ini dilihat berdasarkan dari letak geografis daerah-daerah di Indonesia yang memiliki sumber daya alam berupa sungai-sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai energi potensial untuk pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air dapat didefinisikan berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkannya. Menurut IMDAP atau Integrated Microhydro Development and Application Program (2009), kapasitas daya untuk pembangkit *pico hydro* adalah

kurang dari 500 watt, pembangkit listrik tenaga *micro hydro* mengasilkan daya dari 500 watt hingga 100 kilo watt sedangkan pembangkit listrik *mini hydro* daya yang dihasilkannya dari 100 kilo watt hingga 5.000 kilo watt [4].

Pembangkit listrik tenaga mini hidro (PLTM) Merasap yang terletak di Kec. Sanggau Ledo, Kab. Bengkayang merupakan salah satu pembangkit listrik di Kalimantan Barat yang memanfaatkan aliran sungai sebagai energi potensial air untuk tenaga penggerak turbin. Kapasitas daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik ini adalah sebesar 1.500 kilo watt dengan dua buah turbin yang beroperasi. Daya yang dihasilkan PLTM dipengaruhi oleh kapasitas sebuah *head tank* (bak penenang). *Head tank* berfungsi sebagai pemasok air untuk tenaga penggerak turbin yang dihubungkan oleh sebuah pipa pesat (*penstock*).

Besar kecilnya air yang akan masuk pada *head tank* dapat diatur berdasarkan besar kecilnya pembukaan pintu air. Pengendalian level air pada PLTM masih menerapkan sistem manual dimana operator pembangkit sebagai pelaku pengendali yang akan menggerakkan pintu air. Selain itu, jarak pintu air yang diatur berada jauh dari rumah pembangkit sehingga sulit untuk memonitor level air pada *head tank* yang merupakan variabel yang ingin di kendalikan. Secara tidak langsung hal tersebut juga dapat menimbulkan masalah berupa *human error* berupa kelalaian dan kemalasan yang akan berdampak kurang baik untuk sistem pembangkit. Pengendalian pintu air yang tidak sesuai akan menyebabkan kondisi level air pada *head tank* tidak stabil atau tidak sesuai dengan level yang diinginkan (*setpoint*). Level air yang diinginkan pada PLTM Merasap yaitu level air dengan ketinggian 6 meter. Level air yang tidak sesuai dengan *setpoint* dapat mengakibatkan kurang maksimalnya kinerja turbin sehingga dapat berpengaruh pada daya listrik yang akan dihasilkan untuk memenuhi beban. Berdasarkan hal tersebut agar sistem memiliki kinerja sistem yang lebih baik maka sistem level air pada PLTM merasap dapat dirancang menjadi sistem kendali otomatis menggunakan pengendali PID (*proportional integral derivative*).

Pengendali PID merupakan pengendali konvensional yang terdiri dari tipe pengendali P (*proportional*), I (*integral*), dan D (*derivative*). Pengendali PID ini dipilih untuk digunakan pada pengendalian sistem level air pada PLTM karena jenis pengendali ini sudah sering dipakai dalam suatu kendali proses. Pengendali PID memiliki kelebihan

yaitu dapat diterapkan dalam kondisi operasi yang bervariasi dengan cara mengatur harga konstanta dari tiap-tiap parameternya sehingga didapatkan tanggapan keluaran sistem yang diinginkan.

Melalui penelitian ini, maka penulis ingin merancang suatu sistem kendali otomatis menggunakan pengendali PID. Hal ini dilakukan agar sebelum merancang dalam bentuk *hardware* karakteristik pengendalian sistem telah diketahui sehingga dapat mengoptimalkan dan mengurangi biaya (*cost*) perancangan sistem.

2. Dasar Teori

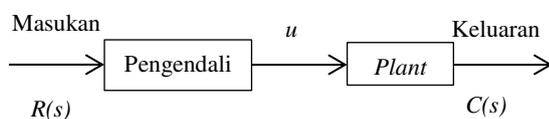
2.1 Sistem Kendali

“Sistem kendali adalah hubungan beberapa komponen yang membentuk suatu sistem yang membuat agar keluaran (*output*) sistem sesuai dengan rencana yang diharapkan” [8]. Dengan kata lain sistem kendali merupakan suatu usaha untuk mengendalikan suatu sistem agar dapat mencapai suatu hal sesuai dengan apa yang diinginkan. Sistem dapat didefinisikan sebagai suatu kombinasi atau gabungan dari beberapa komponen maupun variabel yang saling bekerjasama agar dapat mencapai suatu tujuan tertentu. Sistem dapat berbentuk suatu komponen fisis dimana komponen ini saling berhubungan antara satu sama lainnya. Tujuan dari sistem kendali adalah untuk membuat suatu sistem dapat bekerja lebih baik atau optimal.

Sistem kendali secara umum terbagi menjadi 2 macam yaitu, sistem kendali lingkaran terbuka (*open loop*) dan sistem kendali lingkaran tertutup (*closed loop*).

2.1.1 Sistem Kendali Lingkaran Terbuka (*Open Loop*)

Sistem kendali lingkaran terbuka (*open loop*) adalah sistem yang nilai keluarannya tidak diumpan-balikan ke masukannya, artinya nilai acuan (*setpoint*) pada masukan akan bernilai tetap sehingga tanggapan keluaran tergantung dari kalibrasi sistem itu sendiri. Hubungan masukan-keluaran untuk sistem kendali lingkaran terbuka ditunjukkan pada Gambar 1 .



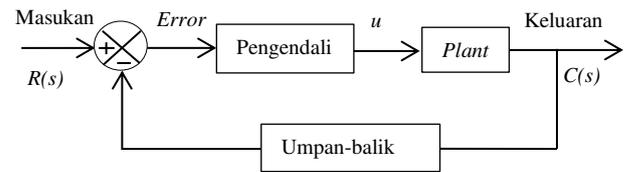
Gambar 1 Diagram blok sistem kendali lingkaran terbuka (*open loop*)

Sumber: Bakshi.U.A dan Bakshi.V.U (2009)

2.1.2 Sistem Kendali Lingkaran Tertutup (*Closed Loop*)

Sistem kendali lingkaran tertutup (*closed loop*) adalah suatu sistem dimana nilai keluarannya dapat diumpan-balikan ke masukan. Gambar 2 menunjukkan hubungan

masukan-keluaran untuk sistem kendali lingkaran tertutup.



Gambar 2 Diagram blok sistem kendali lingkaran tertutup (*closed loop*)

Sumber: Bakshi.U.A dan Bakshi.V.U (2009)

2.2 Pengendali

Pengendali merupakan otak suatu sistem kendali berupa komponen pengatur proses dalam suatu sistem. Pengendali yang digunakan pada rancangan ini adalah pengendali PID yang termasuk suatu pengendali kontinyu. Sistem kendali PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu pengendali P (*Proportional*), I (*Integral*), dan D (*Derivative*) dengan masing-masing parameter memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Johnson.M.A.,and Moradi. M. H, (2005) Pengaturan parameter P, I atau D dilakukan agar keluaran sistem terhadap perancangan sistem kendali PID sesuai dengan yang diinginkan. Tanggapan sistem kendali PID dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

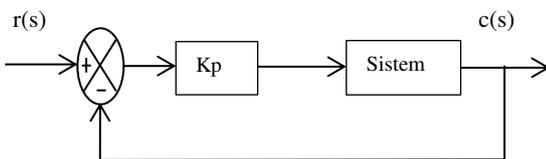
| Tanggapan Lingkaran Tertutup | Waktu Naik | Overshoot | Waktu Turun | Kesalahan Keadaan Tunak |
|-------------------------------|-----------------|-----------|----------------|-------------------------|
| <i>Proportional</i> (K_P) | Menurun | Meningkat | Perubahn Kecil | Menurun |
| <i>Integral</i> (K_I) | Menurun | Meningkat | Meningkat | Hilang |
| <i>Derivative</i> (K_D) | Perubahan Kecil | Menurun | Menurun | Perubahan Kecil |

2.3 Penalaan Parameter Pengendali

Penalaan parameter pengendali PID dapat didasari dari tinjauan terhadap karakteristik dari sistem yang akan dikendalikan (*plant*). Oleh karena itu sebelum penalaan parameter pengendali PID dilakukan, maka perilaku dari sistem kendalian haruslah diketahui dulu. Penalaan parameter pengendali dengan metode analitis cenderung sulit, sehingga salah satu cara untuk mempermudah penalaan parameter dapat menggunakan metode pendekatan eksperimental. Metode ini didasarkan dari reaksi sistem kendalian lingkaran tertutup yang dikenai suatu perubahan sehingga didapat data berupa kurva tanggapan keluaran yang akan menjadi acuan dalam penentuan parameter pengendali PID. Penalaan parameter pengendali PID bertujuan agar sistem yang akan dikendalikan mendapatkan unjuk kerja yang lebih baik yaitu sesuai dengan spesifikasi perancangan. Pada perancangan pengendalian ini parameter sistem sengaja dicari dengan metode *quarter amplitude decay* dan dibandingkan dengan metode osilasi *Ziegler-Nichols*.

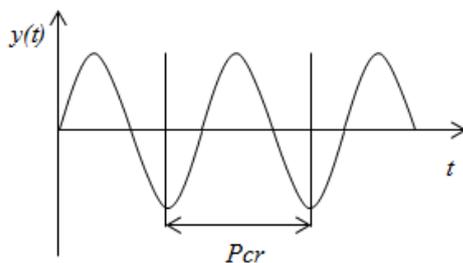
2.3.1 Metode Osilasi Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara yaitu, metode kurva reaksi dan osilasi. Pada perancangan sistem pengendali ini metode yang dipilih untuk digunakan dalam menentukan nilai parameter pengendali PID adalah menggunakan metode osilasi atau disebut juga *ultimate cycle method*. Menurut Copeland, B. R. (2008), metode osilasi merupakan metode yang bertujuan membuat tanggapan keluaran sistem berbentuk osilasi dengan lonjakan 25% dengan mengatur penguatan pengendali proporsional. Metode ini didasarkan pada reaksi dari sistem lingkaran tertutup (*closed loop*) dimana masukannya berupa fungsi tangga satuan (*step*). Sistem lingkaran tertutup untuk cara metode osilasi dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem lingkaran tertutup dengan pengendali proporsional

Berdasarkan Gambar 3, untuk mendapatkan nilai parameter pengendali proporsional yaitu berupa K_p maka dapat mengatur nilai konstantanya yaitu dengan menaikkan nilainya mulai dari nol hingga didapatkan nilai penguatan kritis yaitu K_{cr} , sehingga diperoleh kurva keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitude yang sama atau disebut (*sustained osilation*). Sedangkan periode dari kondisi *sustained osilation* disebut sebagai P_{cr} atau perioda saat kondisi kritis. Gambar 4 menggambarkan kurva tanggapan reaksi lingkaran tertutup ketika berosilasi.



Gambar 4 Kurva tanggapan periode dasar (*sustained osilation*)

Sumber : Djoko Nusantoro, Suyanto (2007)

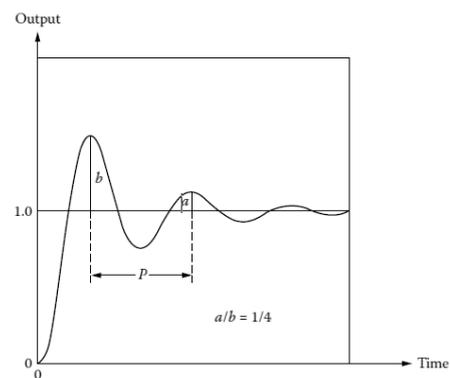
Penalaan parameter PID dapat didasarkan pada kedua konstanta hasil eksperimen yaitu K_{cr} dan P_{cr} . Ziegler-Nichols menyarankan parameter penyetulan nilai K_p , T_i , dan T_d yang didasarkan kedua konstanta tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 2 [2].

Tabel 2 Rumusan penalaan parameter PID berdasarkan metode osilasi Ziegler-Nichols.

| Pengendali | K_p | T_i | T_d |
|------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| P | $0,5 \cdot K_{cr}$ | ~ | - |
| PI | $0,45 \cdot K_{cr}$ | $0,85 \cdot P_{cr}$ | - |
| PID | $0,65 \cdot K_{cr}$ | $0,5 \cdot P_{cr}$ | $0,125 \cdot P_{cr}$ |

2.3.2 Metode Quarter Amplitude Decay

Karena tidak semua sistem dapat mentolerir keadaan osilasi dengan amplituda tetap, *cohen-coon* berupaya memperbaiki metode osilasi dengan menggunakan metode *quarter amplitude decay*. Metode ini didapatkan berdasarkan dari tanggapan lingkaran tertutup sistem. Menurut Murrill, P., dkk (2006), *quarter amplitude decay* didefinisikan sebagai tanggapan peralihan (*respon transien*) dengan bentuk tanggapan tangga satuan yang dimana amplitudanya dalam periode pertama berbentuk osilasi dengan memiliki perbandingan sebesar seperempat ($1/4$). Bentuk dari kurva metode *quarter amplitude decay* ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Kurva tanggapan metode *quarter amplitude decay*

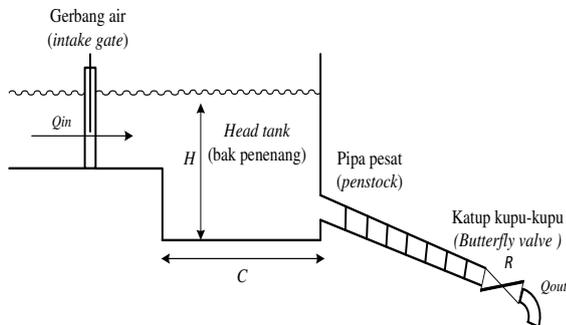
Sumber: Murrill, P., dkk (2006)

Penalaan metode *quarter amplitude decay* tidak jauh berbeda dengan metode osilasi Ziegler-Nichols, hanya kurva tanggapan keluaran yang akan menjadi tetapan untuk menentukan konstanta dasar penentuan parameter pengendali saja yang berbeda. Pada metode ini untuk mendapatkan nilai parameter penguatan pengendali proporsional yaitu K_p sistem dapat ditala secara ekperimental. Penalaan dilakukan dengan mengatur harga konstanta K_p sehingga diperoleh kurva tanggapan berbentuk *quarter amplitude decay*. Nilai K_p yang didapat merupakan nilai K_{cr} , sedangkan nilai periode berdasarkan kurva yang didapat merupakan konstanta P_{cr} . Parameter lainnya berupa T_i dan T_d dapat dihitung berdasarkan hubungan nilai konstanta tersebut. Nilai pengendali masing-masing PID dapat didapatkan dengan memasukkan nilai konstanta tersebut berdasarkan rumus tetapan yang digunakan pada metode osilasi Ziegler-Nichols yaitu sesuai pada Tabel 2.

3. Perancangan Model Sistem

3.1 Model Matematis Sistem *Head Tank*

Sistem fisik *head tank* PLTM yang akan dimodelkan menjadi bentuk persamaan matematis dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Model fisik sistem *head tank*

Pada Gambar 6, masukkan debit air Q_i yang masuk dari bendungan (*weir*) ke bak penenang (*head tank*) melewati pintu pengambil air (*intake gate*) dianggap konstan, hal ini dikarenakan air sungai yang dimanfaatkan untuk pembangkit listrik selalu mengalir sehingga pada bendungan air selalu ada atau tersedia. Besar kecilnya debit air yang masuk berdasarkan pembukaan pintu air yang digerakan oleh motor induksi. Air yang masuk dan tertampung pada *head tank* akan disalurkan melalui pipa pesat dimana pada pipa pesat terdapat tahanan R berupa katup kupu-kupu (*butterfly valve*). Untuk mendapatkan persamaan differensialnya dapat menggunakan rumus kesetimbangan massa.

Berdasarkan data pada PLTM nilai debit keluaran maksimal dari masing-masing turbin adalah $Q_{out} = 4,72 \text{ m}^3/\text{s}$, karena pada PLTM terdapat dua buah turbin yang beroperasi sehingga untuk debit total keluaran turbin adalah $9,44 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan tinggi *head tank* adalah 6 meter dengan ini nilai tahanan R dapat dihitung yaitu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{H}{Q_{out}} = \frac{6 \text{ m}}{9,44 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,63 \text{ s/m}^2 \quad (1)$$

Sedangkan volume *head tank* diketahui adalah 1344 m^3 , sehingga perubahan cairan yang diperlukan untuk membuat perubahan potensial sebesar satu satuan (luas penampang) yaitu dapat dihitung sebagai berikut:

$$C = \frac{V}{H} = \frac{1344 \text{ m}^3}{6 \text{ m}} = 224 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Nilai tahanan dan kapasitansi tersebut akan dimasukkan pada pemodelan matematis yang berbentuk persamaan fungsi alih. Berdasarkan nilai-nilai yang telah didapat maka model matematis keseluruhan dari sistem *head tank* adalah sebagai berikut:

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = G_p(s) = \frac{R}{RCs + 1} = \frac{0,63}{141,12s + 1} \quad (3)$$

3.2 Model Matematis *Multi-Turn Actuator*

Untuk menggerakkan pintu air pada PLTM maka diperlukan suatu elemen penggerak (*actuator*) yang berada pada pintu aliran masuk air. Elemen penggerak yang digunakan pada PLTM adalah *multi-turn actuator* tipe SA 14 dimana dalam perangkat ini terdapat motor induksi tiga fasa yang digabung dengan rangkaian elektronik dengan sumber tegangan AC (*alternating current*). Perangkat tersebut dihubungkan dengan sebuah *gear box* tipe GK 14 yang berfungsi untuk memperkuat keluaran torsi dari *multi-turn actuator* agar dapat menggerakkan elemen kontrol akhir. Elemen kontrol akhir berupa pintu air yang dapat menimbulkan efek langsung mengatur air masuk dari bendungan ke *head tank*. Gambar 3.4 merupakan bentuk fisik dari sebuah *multi-turn actuator* dan *gear box*.



Gambar 7 Kombinasi *multi-turn actuator* SA.14 dengan *bevel gear-box* GK.14

(sumber: *textbook. Auma Electric Multi-Turn Actuators*)

Perangkat *actuator* berdasarkan Gambar 7 dapat dimodelkan dengan mempresentasikan parameter-parameter fisis motor induksinya menjadi model matematis berupa persamaan fungsi alih yang didapat dari analisa pemodelan dinamik sistem fisisnya.

Berdasarkan jenis motor induksi dan *name plate* yang di gunakan pada PLTM Merasap, serta merujuk penelitian sebelumnya pada [10] nilai parameter motor induksi dapat diasumsikan dengan spesifikasi fisis seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi fisis motor induksi *Squerrel cage*

| n | Tegangan sumber terukur | 230 | Volt |
|----------|-------------------------|-------|----------------------|
| P | Jumlah pole | 2 | - |
| f_s | Frekuensi stator | 60 | Hz |
| J_{eq} | Momen inersia stator | 0,3 | Kg.m^2 |
| R_s | Tahanan stator | 0,08 | Ohm |
| R_r | Tahanan rotor | 0,04 | Ohm |
| L_s | Induktansi stator | 15,4 | mH |
| L_r | Induktansi rotor | 16,38 | mH |
| L_m | Induktansi magnetik | 14,60 | mH |
| S | Slip | 0,02 | - |
| B_m | Koefisien gesekan | - | $N_m/\text{rad/sec}$ |

Dengan memasukkan nilai spesifikasi berdasarkan Tabel 3, maka didapat persamaan fungsi alih motor induksi yaitu:

$$G_V(s) = \frac{1,78}{0,00072 s^2 + 0,0157 s + 3,168} \quad (4)$$

$$G_P(s) = \frac{2470}{s^2 + 21,79 s + 4400} \quad (5)$$

Model motor induksi dalam bentuk fungsi alih yang didapatkan berupa model sistem orde dua.

3.3 Sensor Level Air (LEEG Level Transmitter)

Untuk mengukur tinggi level air pada *head tank* pada PLTM digunakan suatu sensor yang disebut *LEEG Level Transmitter* dengan tipe (LMP633 – CS4Y32F2AW5H). Sensor ini bekerja dengan mengunakan sistem tekanan dan mentransmisikannya dalam bentuk sinyal listrik.



Gambar 8 LMP633 Standard Level Transmitter
(sumber: <http://image.made-in-china.com>)

Berdasarkan data yang didapat sinyal listrik yang dikeluarkan oleh sensor ini besarnya 4-20 mA. Sedangkan masukan untuk sensor berdasarkan spesifikasinya adalah 0~5 meter. Pemodelan untuk level transmitter ini dapat didekati dengan sistem orde satu. Dengan memasukkan data tersebut maka nilai penguatan (*gain*) level transmitter didapat sebagai berikut:

$$G_L = \frac{V(s)}{h(s)} = \frac{(20 - 4)mA}{(5 - 0)m} = 3,2 mA/m \quad (6)$$

dengan:

- G_L :penguatan (*gain*) level sensor
- V :keluaran dari sensor dalam satuan (*miliampere*)
- H :masukan sensor berupa ketinggian level air yang terukur (meter)

Nilai penguatan pada persamaan (6) dapat dimasukkan pada persamaan fungsi alih orde satu, dengan nilai *time constant* (waktu penetapan) *level transmitter* adalah 0,2 detik yaitu sebagai berikut:

$$H(s) = \frac{3,2}{0,2 s + 1} \quad (7)$$

3.4 Model Simulasi Kendali Level Air Head Tank

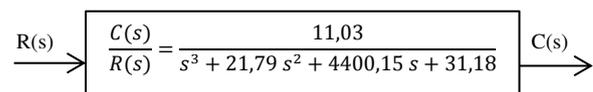
Berdasarkan fungsi alih masing-masing sistem yang telah didapat melalui perhitungan, model keseluruhan fungsi alih sistem level air *head tank* yang didapat dengan mengalikan fungsi alih *actuator* $G_V(s)$ dan sistem *head tank* $G_P(s)$ adalah sebagai berikut:

$$G_s(s) = \frac{11,03}{s^3 + 21,79 s^2 + 4400,15 s + 31,18} \quad (8)$$

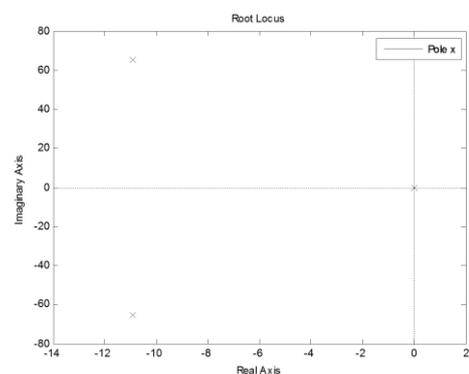
4. Hasil Simulasi dan Analisis

4.1 Simulasi Sistem Lingkaran Terbuka (Open Loop)

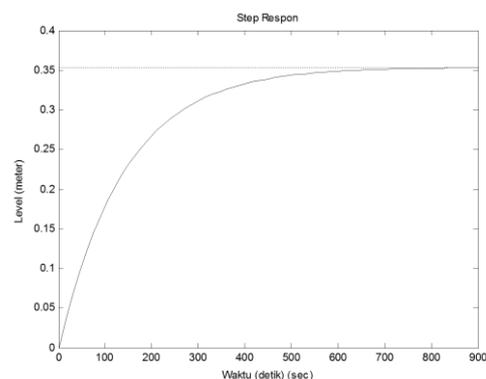
Simulasi sistem secara lingkaran terbuka ini bertujuan untuk melihat karakteristik proses perubahan ketinggian level air pada *head tank* terhadap pengaruh lajunya air yang masuk dari saluran pengambil air tanpa adanya pengendali. Model sistem digambarkan secara diagram blok diperlihatkan pada Gambar 9. Hasil simulasi sistem masing-masing diperlihatkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 9 Diagram blok fungsi alih sistem lingkaran terbuka



Gambar 10 Kedudukan akar karakteristik sistem lingkaran terbuka



Gambar 11 Simulasi tanggapan tangga satuan sistem lingkaran terbuka

Berdasarkan kurva hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mengalami perubahan keluaran sistem yang tidak dapat mencapai nilai *setpoint* (level) yang diinginkan yaitu 6 meter. Tanggapan peralihan sistem yang dicapai dengan waktu dari 0 sampai 900 detik hanya mencapai nilai keluaran 0,35 meter. Berdasarkan hal ini fenomena fisis yang terjadi pada sistem adalah dikarenakan laju aliran air yang keluar dari *head tank* menuju turbin lebih besar dari pada laju aliran air yang masuk pada *head tank*. Hal ini juga mengidentifikasi bahwa air pada *head tank* tidak akan pernah penuh atau mencapai level air 6 meter.

Oleh karena itu, maka untuk memperbaiki tanggapan peralihan sistem dengan pengendali dapat dengan menentukan spesifikasi perancangan sistem yang ingin dicapai yaitu sebagai berikut:

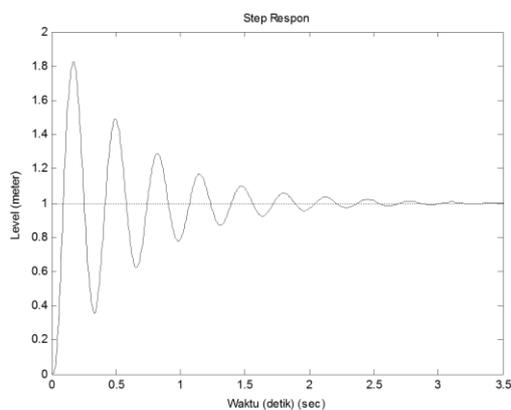
1. Waktu naik (t_r) kurang dari 2 detik
2. Waktu penetapan (t_s) kurang dari 3 detik
3. Lewatan maksimum (M_p) kurang dari 40 %
4. *Error steady state* atau galat keadaan tunak (*Ess*) kurang dari 2 %

4.2 Simulasi Sistem Lingkak Tertutup (*Closed Loop*)

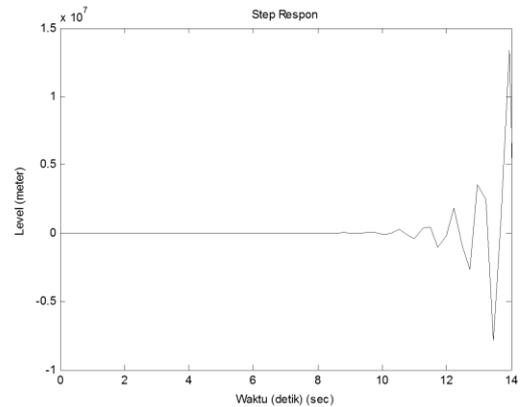
Simulasi sistem secara lingkak tertutup yaitu dengan pengendali dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter tiap-tiap pengendali maupun gabungan diantaranya dalam hal ini yaitu pengendali P, pengendali I dan pengendali D. Pada perancangan sistem pengendali PID ini penentuan nilai parameter dicari dengan metode *quarter amplitude decay* dan sebagai pembandingnya menggunakan metode osilasi *Ziegler-Nichols*.

Tabel 4 Nilai parameter PID berdasarkan metode osilasi *Ziegler-Nichols*

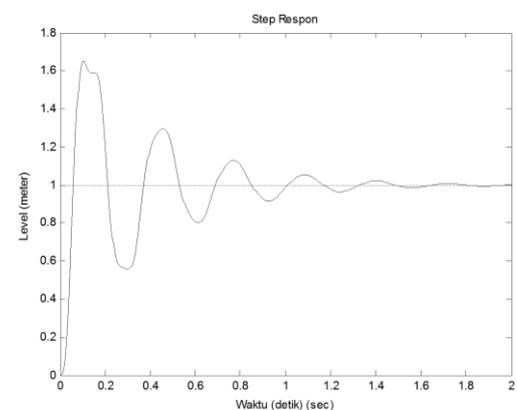
| Pengendali | K_P | K_I | K_D |
|------------|--------|-------|-------|
| P | 8588,5 | - | - |
| PI | 7729,7 | 42162 | - |
| PID | 10306 | 93693 | 283,4 |



Gambar 12 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 8588,5$



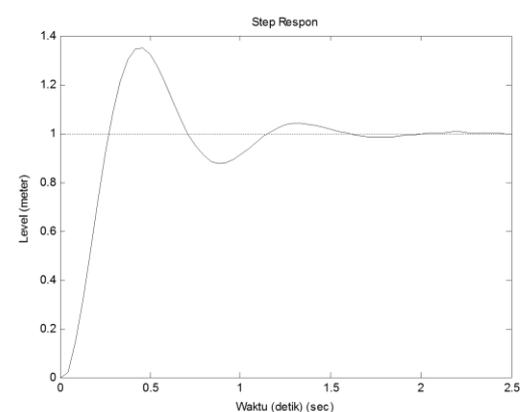
Gambar 13 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 7729,7$ dan $K_I = 42162$



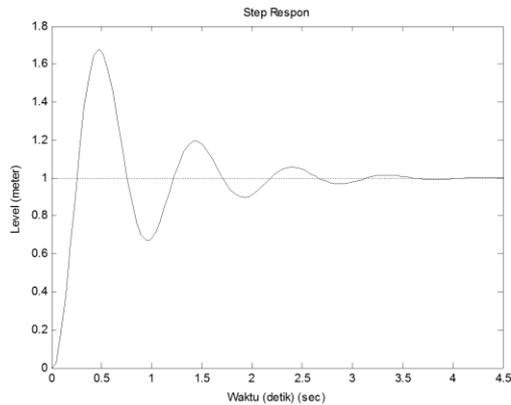
Gambar 14 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 10306$, $K_I = 93693$ dan $K_D = 283,4$

Tabel 5 Nilai parameter PID metode *quarter amplitude decay*

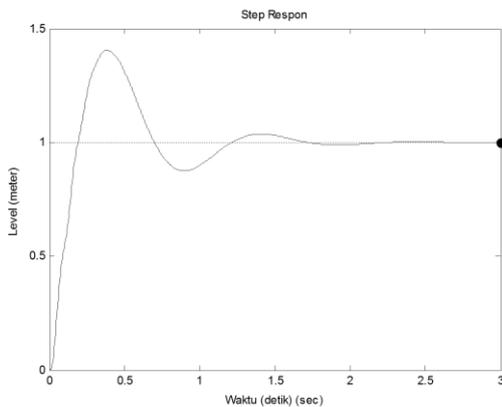
| Pengendali | K_P | K_I | K_D |
|------------|-------|-------|-------|
| P | 1390 | - | - |
| PI | 1251 | 2502 | - |
| PID | 1668 | 5560 | 125.1 |



Gambar 15 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 1390$

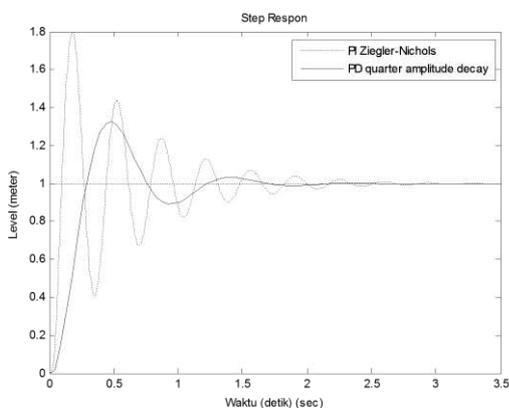


Gambar 16 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 1251$ Dan $K_I = 2502$



Gambar 17 Tanggapan tangga satuan dengan nilai $K_P = 1668$, $K_I = 5560$ dan $K_D = 125.1$

Dari kedua metode yang digunakan yaitu metode osilasi *Ziegler-Nichols* dan metode *quarter amplitude decay* untuk mencari parameter tiap-tiap pengendali PID, maka didapatkan perbandingan pengendali yang terbaik berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada gambar 18 dan dan Tabel 6.



Gambar 18 Perbandingan tanggapan tangga satuan metode osilasi *Ziegler-Nichols* (PID) dan metode *quarter amplitude decay* (P)

Tabel 6 Perbandingan spesifikasi sistem metode osilasi *Ziegler-Nichols* dan metode *quarter amplitude decay*

| Spesifikasi | Motode osilasi <i>Zigler-Nichols</i> (PID) | Metode <i>quarter</i> <i>amplitude decay</i> (P) |
|---|---|--|
| Posisi akar | $P = -2,76 + 19,8i$ $P = -2,76 - 19,8i$ $P = -5,29 + 62,1i$ $P = -5,29 - 62,1i$ $P = -10,7$ $Z = -18,2 + 0,122i$ | $P = -11 + 65i$ $P = -11 - 65i$ $P = -2,39 + 7,12i$ $P = -2,39 - 7,12i$ |
| Lewatan maks (M_p) | 65% | 35,1% |
| Waktu tunda (t_d) | 0,04 | 0,163 |
| Waktu naik (t_r) | 0,033 | 0,178 |
| Waktu puncak (t_p) | 0,101 | 0,46 |
| Waktu penetapan (t_s) | 1,42 | 1,49 |
| Error steady state (<i>offset</i>) | 0 | 0,99 |

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis hasil simulasi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Model matematis sistem level *head tank* PLTM Merasap apabila digabungkan dengan model matematis aktuator berupa motor induksi adalah model dengan karakteristik sistem orde tiga.
2. Dari hasil pengujian sistem dengan simulasi didapatkan bahwa penalaan parameter pengendali PID dengan metode *quarter amplitude decay* dapat menghasilkan unjuk kerja sistem menjadi lebih baik dan dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan jika dibandingkan dengan penalaan parameter menggunakan metode osilasi *Ziegler-Nichols*.
3. Berdasarkan hasil simulasi sistem dengan pengendali P metode *quarter amplitude decay*, nilai konstanta agar sistem memiliki unjuk kerja sesuai dengan spesifikasi sistem adalah dengan parameter $K_p = 1390$, sehingga didapatkan spesifikasi terbaik yaitu dengan nilai lewatan maksimum (M_p) sebesar 35,1%, waktu naik (t_r) 0,178 detik dan waktu penetapan (t_s) 1,49 detik.
4. Tanggapan keluaran sistem dengan lewatan maksimum yang tinggi akan menghasilkan tanggapan peralihan dengan waktu yang cepat, sedangkan sebaliknya apabila waktu tanggapan peralihan yang dicapai lebih lambat maka lewatan maksimum yang terjadi pada sistem semakin kecil.

Referensi

- [1] Bakshi, U.A dan Bakshi, V.U. 2009. *Automatic Control System*. India: Technical Publication Pune.
- [2] Copeland, B. R. 2008. The Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning. <http://educyclopedia.karadimov.info>. 25 September 2013 (06:30).
- [3] Djoko Nusantoro, S. 2007. Perancangan Sistem Pengendalian Level Pada Monitoring Produksi Sumur Minyak Dan Gas Dengan Menggunakan Kontroler PID di PT Pertamina EP Region Jawa, Field Subang– Tambun. *Tesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya.
- [4] Febriansyah. 2009. Kapasitas Pembangkitan dan Rancangan Anggaran Biaya Pembangunan PLTM di Sungai Damar PT.ADHISATYA. *Makalah Seminar Kerja Praktek*, hal.1-2.
- [5] Johnson .M. A dan Moradi. M. H. 2005. *PID Control: New Identification and Design Method*. London: Springer.
- [6] Liptak, Bela. G. 2006. *Instrument Engineers' Handbook, Fourth Edition, Volume Two: Process Control and Optimization*. Stamford: CRC Press.
- [7] Ogata, K. 1997. *Modern Control Engineering*. Third Edition. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- [8] Pakpahan, S. 1994. *Kontrol Otomatik dan Penerapan*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Soe N. N., Yee Han T. T. dan Aung S. S. 2008. Dynamic Modeling and Simulation of Threephase Small Power Induction Motor. *Jurnal World Academy of Science, Engineering and Technology* 18: 421-424.
- [10]Zulfatman. 2006. Desain Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Phase dengan PID Controller. *Jurnal Gamma* 1(2):1-9.

Biografi

¹ **Ihdina Nurkarima** lahir di Bengkulu, Indonesia pada tanggal 10 Juli 1990, mendapatkan gelar S.T. (Sarjana) tahun 2014 dari Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

² **Hendro Priyatman** Menerima gelar S.T (Sarjana) di bidang Teknik Kendali pada Tahun 1994 di Universitas Tanjungpura dan M.T. (Master) di bidang Teknik Kendali dan Sistem Komputer dari Institut Teknologi Bandung tahun 1999 dan merupakan dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak dengan bidang keahlian Sistem Kendali.

³ **Budi Kurniawan** Menerima gelar Ir (insinyur) di bidang Teknik Elektro pada Tahun 1984 di Universitas Tanjungpura dan M.Sc. (Master of science) di bidang Matematika Terapan dari Universitas Adelaide (Australia) tahun 1992 dan merupakan dosen di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak dengan bidang keahlian Matematika.