

Implementasi Kendali Proportional Integral Derivative pada Putaran Turbin dan Kestabilan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Supri Hardi¹, Nelly Safitri², Yaman³, Radhiah^{4*}

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹suprihardi@pnl.ac.id

²nellysafitri@pnl.ac.id

³yaman_gayo@gmail.com

⁴radhiah34@yahoo.com

Abstrak — Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), saat menggunakan system electronic load controller (ELC) untuk mengatur putaran turbin dan kestabilan tegangan, banyak energi yang terbuang percuma menuju *dummy load* (*dummy load* digunakan untuk memberikan beban tiruan pada generator agar tegangan keluarannya konstan). Inovasi yang ditawarkan yaitu melakukan pengaturan putaran turbin tidak lagi menggunakan perangkat pengatur ELC, namun menggunakan *control valve motorize* (CVM). Tujuan penelitian ini yaitu menghasilkan modul panel pengendali CVM pada pembangkit mikrohidro yang dibangun, dilengkapi dengan instalasi panel pengendali putaran turbinnya. Modul ini terdiri dari motor pompa sebagai pemberi energi potensial terhadap turbin pelton yang di-*coupled* dengan generator *brushless direct current* (BLDC). Tekanan air untuk memutar turbin pelton tersebut menghasilkan tekanan 70 Psi (4 Bar). Tegangan yang dihasilkan 61 Volt, dengan frekuensi 51 Hz. Untuk membuktikan bahwa perubahan beban generator mempengaruhi putaran turbin dan pengaturan laju aliran pada pipa pesat dilakukan dengan mempertahankan kestabilan putaran, maka sistem yang dibangun menggunakan sensor yang mendeteksi besar putaran dengan sinyal analog 0-10 Volt. Sinyal tersebut diterima oleh controller yang kemudian diteruskan ke CVM untuk mengatur laju aliran air melalui pipa pesat ke turbin. Proses pengurangan tekanan air dilakukan dengan mengatur CVM sebesar 28% (kondisi awal), kemudian 24% (kondisi berbeban) dan kembali pada pembukaan valve 28% (kondisi saat beban diputuskan). Selama 43 detik dilakukan pembebanan dengan lampu 3x5 watt. Terjadi penurunan frekuensi dan tegangan menjadi 50 Hz dan 60 Volt. Kemudian secara otomatis dalam waktu 20 detik tegangan dan frekuensi menuju kondisi awal. Hal ini menunjukkan bahwa CVM terbukti menjaga kestabilan putaran turbin.

Kata kunci— Turbin Pelton, *dummy load*, pipa pesat.

Abstract — The losses of a significant amount of energy occurred toward the dummy load in Micro Hydroelectric Power Plants when employing an electronic load controller (ELC) technology to control turbine rotation and voltage stability. Dummy load is used to provide load on the generator so that the output voltage is constant. The proposed innovation is controlling the turbine rotation with a motorized control valve rather than an ELC regulating mechanism (CVM). The aims of this research are to build a micro hydroelectric power plant with a turbine rotation control and a CVM control panel installation. This module comprises of a brushless direct current (BLDC) generator and a pump motor that could serve as energy source for Pelton turbine. The Pelton turbine rotates under water pressure that generates 70 psi (4 Bar). A frequency of 51 Hz and a voltage of 61 Volts are the references for the setpoint. The system created employs a sensor that detects the rotation with an analog signal of 0-10 Volts. In order to demonstrate load variations in the generator effect the turbine rotation and the flow rate in the inlet pipe are carried out by maintaining the stability of the rotation. The controller receives the signal, which is subsequently sent on to the CVM to control the water flow through the turbine's inlet pipe. The water pressure is reduced by adjusting the CVM at 28% opening (initial condition), at 24% opening (loaded condition), and back to 28% opening (condition when the load is disconnected). A 3x5 watt lamp is used to perform the load for 43 seconds. The frequency and voltage were reduced to 50 Hz and 60 volts, respectively. The voltage and frequency are then returned to their setpoint automatically after 20 seconds. This demonstrates that CVM has successfully maintained turbine rotation and voltage stability.

Keywords— Pelton Turbine, dummy load, BLDC, inlet pipe.

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini PLTMH yang dikembangkan untuk menjaga kestabilan tegangan dan frekuensi tersebut dengan menggunakan ELC [1,3]. ELC pada PLTMH di manfaatkan untuk mengatur beban ke dummy load berupa heater dengan tahanan 1-5 Ohm. Konsep kerjanya ELC mengalihkan beban utama ke beban *dummy load* [4]. Akibat yang ditimbulkan oleh sistem ELC adalah generator terus menerus bekerja maksimum.

Dalam hal ini peneliti akan menawarkan sebuah **solusi** dari permasalahan tersebut. Dimana pengaturan putaran turbin tidak lagi harus menggunakan perangkat pengatur ELC, tapi inovasi menggunakan CVM. Peneliti merancang sebuah sistem pengendalian putaran turbin dengan kendali PID. Nilai parameter kendali sangat mempengaruhi tingkat kestabilan pengendali yang dilakukan.

Turbin yang digunakan jenis turbin pelton, dimana Energi input (P_{in}) berupa tekanan air pada sebuah turbin untuk menggerakkan blade turbin dan menghasilkan energi kinetic

(P_m) berupa putaran. Efisiensi turbin merupakan perbandingan energi input terhadap energi kinetic yang dihasilkan. Secara idial efisiensi turbin antara 80 sampai 90 persen. Beberapa yang mempengaruhi nilai efisiensi turbin rendah [2] diantaranya, blade turbin, pipa penstock, nosel atau pengarah air. Kemudian energi mekanik dari turbin memutar generator untuk mengkonversikan energi mekanik tersebut ke bentuk energi listrik.

Pada pembangkit skala besar sistem pengaturan putaran menggunakan *hydraulic valve* dengan kendali governor [5].

Turbin diset agar selalu pada putaran tetap, untuk itu perlu dilakukan pengendalian katup control agar aliran menuju turbin selalu stabil [6].

Tiga bagian utama sistem pembangkitan adalah generator sinkron, eksitasi *automatic voltage regulation* (AVR) dan *automatic governor control* (AGC) [7,8]. Komponen utama sistem pembangkit energi listrik tenaga air Ada tiga yaitu, sistem turbin, sistem generator, dan sistem kendali.

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin tersebut, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu [9]

System generator adalah beban yang harus digerakkan oleh turbin untuk menghasilkan tegangan pada frekuensi tertentu. Kebutuhan putaran generator harus dipenuhi sesuai jumlah kutub dan frekuensi yang diinginkan. terbangkit tegangan induksi diakibatkan oleh medan magnet rotor diputar oleh turbin, maka fluks medan rotor akan mengimbaskan magnet ke kumparan stator, [10]

Sistem pengendalian putaran dilakukan pada turbin, dengan cara mengatur bukaan CVM untuk mengatur debit alir. Besar daya turbin terkait terhadap debit alir pada pipa pesat. Pengaturan debit alir sesuai kebutuhan daya generator dapat dilakukan oleh CVM. Sistem pengendalian debit alir ada tiga komponen utama yaitu sensor, *controller*, dan *actuator*. Standar sinyal yang digunakan dalam bentuk elektrik ada 4 yaitu; sinyal arus 0-20 mA, dan 4-20 mA, sinyal tegangan 0-5 volt, dan 0-10 volt. Sinyal standar industry sudah baku sebesar 4-20 mA [11].

Sistem pengendalian putaran dilakukan pada turbin, dengan cara mengatur bukaan CVM untuk mengatur debit alir. Pada persamaan 1.1 dapat dilihat bahwa besar daya turbin terkait terhadap debit alir pada pipa pesat. Pengaturan debit alir sesuai kebutuhan daya generator dapat dilakukan oleh CVM. Sistem pengendalian debit alir ada tiga komponen utama yaitu sensor, *controller*, dan *actuator*. Standar sinyal yang digunakan dalam bentuk elektrik ada 4 yaitu; sinyal arus 0-20 mA, dan 4-20 mA, sinyal tegangan 0-5 volt, dan 0-10 volt. Sinyal standar industry sudah baku sebesar 4-20 mA [11]. Bentuk bentuk sinyal ini harus dipahami sehingga tidak terjadi kekeliruan dalam proses pengendalian sistem. Penstandaran sinyal sangat diperhatikan, sehingga peralatan-peralatan instrumentasi di industry diharuskan dikalibrasi ulang agar sinyal tersebut sesuai dengan *real time* yang ada dilapangan.

Komponen-komponen pengendalian putaran turbin dibagi dalam 3 bahagian dapat dijelaskan yaitu,

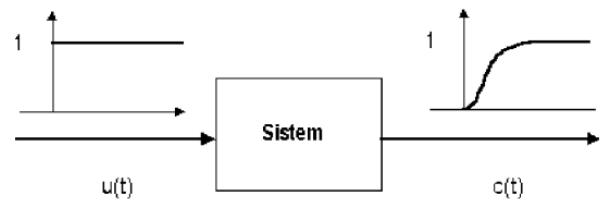
Sensor putaran

Sensor *proximity hall effect* atau umunya dikenal dengan sensor proximity medan magnet adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi medan magnet. Sensor ini memberikan output berupa tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Sensor ini dibangun dari sebuah lapisan silikon dan dua buah elektroda pada masing-masing sisi silikon [12]. Sensor putaran dapat juga menggunakan tacho generator (TG) dari dynamo DC 12 Volt, dimana dynamo tersebut diset dan dikalibrasi dengan menggunakan potensio 10k. Tegangan sinyal analog yang dihasilkan TG sebesar 0-10 Volt. Sensor putaran mendeteksi besar putaran yang terjadi pada turbin akibat dari sebuah aliran air. Makin besar tekanan air, tentunya akan mempercepat putaran turbin.

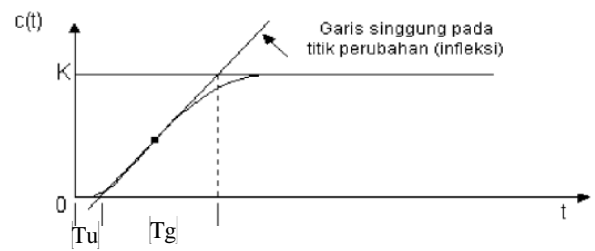
Buat sub bab untuk penjelasan bidang tertentu

Controller merupakan alat pengkondisian sinyal yang diterima dari sensor. Kendali yang banyak digunakan di industry yaitu kendali proportional integral and derivatives (PID). Fungsi controller yaitu membandingkan sinyal sensor dengan nilai set point. Selisih sinyal disebut dengan error. Menghitung nilai penguat proposional, integral dan defrensial, dari error yang terjadi menjadi respon sesuai yang diinginkan.

Tuning parameter PID adalah cara menghitung nilai penguat proposional, integral, dan difrensial. Sistem dengan *open loop* sesuai *method Nichols-ziegler* untuk mendapatkan *respon plant* seperti Gambar 2, selanjutnya kita tentukan nilai T_u dan T_g seperti Gambar 3.



Gambar I.1 Sistem open loop



Gambar I. Menentukan nilai T_u dan T_g

Nilai T_u dan T_g merupakan parameter utama untuk menghitung parameter kendali K_p , T_i , dan T_d pada kendali PID. Nilai K_p , T_i , dan T_d dapat dihitung sesuai Tabel I berikut.

Tabel 1. Menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d

	Kp	Ti	Td
Pid	1,2 Tg/Tu	2 Tu	0,5 Tu
Pi	0,9 Tg/Tu	3,3 Tu	
p	Tg/tu		

Nilai parameter kendali Kp, Ti, dan Td merupakan nilai yang kemudian harus di setting pada *controller*.

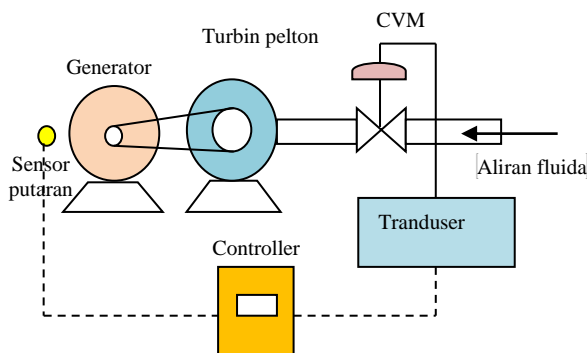
Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan parameter sistem kendali PID untuk mengatur putaran turbin dengan menggunakan aktuator CVM. Parameter kendali PID yang tidak tepat mengakibatkan sistem tidak stabil. Akibatnya frekuensi dan tegangan yang dihasilkan oleh generator juga tidak stabil.

II. METODOLOGI PENELITIAN

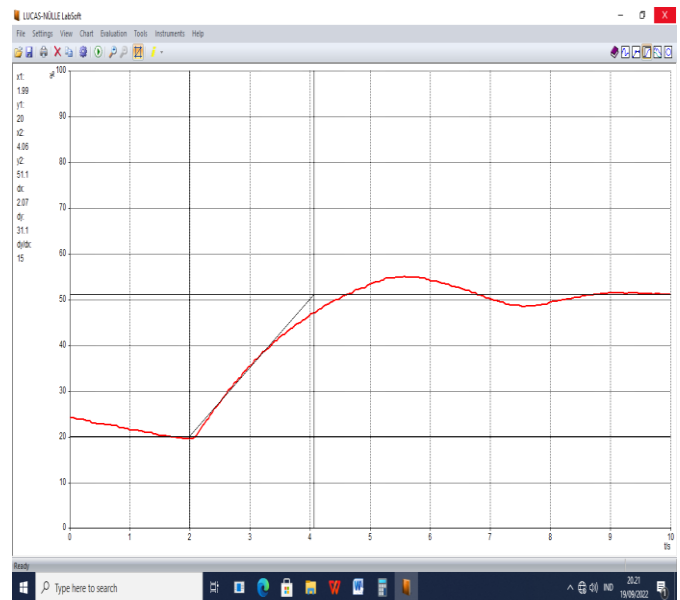
Bagian ini menjelaskan secara rinci tentang penelitian yang dilakukan.

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode perancangan dan pengukuran. Metode perancangan yang dilakukan yaitu menghitung dan menentukan parameter kendali PID. Metode pengukuran yang dilakukan yaitu menguji dengan parameter yang dihitung untuk mengetahui bagaimana respon pengendalian CVM pada turbin pelton dan generator jenis BLDC 2kW.

Metode perancangan dengan melakukan perhitungan terkait menentukan nilai Kp, TI dan Td pada sebuah controller. Cara menghitung parameter kendali PID dengan metode nicholes-zigler berdasarkan respon kurva S. Respon plant didapat dari kondisi awal sebelum diaplikasikan parameter kendali PID. setting kendali dengan Kp = 1 dan Ti dan Td dengan setting 0. Kemudian plant dijalankan sampai mencapai kondisi stabil. Rangkaian pengujian kendali CVM dapat dilihat pada Gambar III.6.



Gambar 2. Rangkaian pengujian



Gambar 3. Respon Plant

Dari respon tersebut yang dapat dianalisis yaitu nilai delay time (td), rise time (tr), top time (tp), setling time (ts), dan over shoot (mp) yang terjadi.

Nilai td = 1 det,

tr = 2,5 dt

tp = 3,5 dt

ts = 7 dt

mp = (35-30)/30 x 100% = 16,67%

Data respon tersebut di tuning untuk mentukan nilai TU dan Tg, yaitu time delay dan time constant yaitu:

Tu = 2,2 detik

Tg = 1.4 detik

Parameter yang harus dihitung untuk kendali PID yaitu nilai Kp, Ti, dan Td. Sesuai dengan metode Nichols-zigler pada tabel 2.1.

Besar parameter kendali PID yaitu,

$Kp = 1,2 \times 1,4/2,2 = 0,764$ atau

Propositional Band (PB) = $1/0,764 \times 100\% = 130,89\%$

Ti = $2 \times 1,4 = 2,8$ det

Td = $0,5 \times 1,4 = 0,7$ det

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengaplikasikan nilai parameter kendali PID dengan mensetting nilai-nilai parameter yang telah dihitung pada alat controller. Posisi controller pada mode rivers dengan setting point pada summer negative dan variable proses pada positif summer. Sehingga nilai error yang terjadi positif.

Peneliti akan menjelaskan data pengukuran yang sudah dilakukan terkait *hubungan sett point, error, output kendali dan frekuensi dan tegangan sistem* kaitanya dengan penambahan dan pengurangan beban.

1. Setelah proses pembalikan input feed back sinyal tegangan sensor pada summing pada polaritas positif dan set point pada summing negative, sehingga error yang terjadi

- positif, sehingga proses pengendalian berhasil dengan baik. Pada kondisi ini tegangan yang diharapkan sebesar 60 volt, dengan frekuensi 50 Hz. Proses pengurangan tekanan air dilakukan dengan membukanya CVM sebesar 28%.
2. Proses pengurangan tekanan air pada turbin dengan membuka CVM 28% yaitu dengan kondisi Set point diberikan pada summing negative dengan tegangan 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing positif sebesar 5,212 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,378 volt. Kemudian output kendali PID sebesar 2,808 volt.
 3. Kemudian dilakukan pembebanan generator dengan menekan tombol ON sehingga kontaktor terhubung dan lampu menyala. Pada kondisi tersebut tegangan sistem menjadi 59 volt dengan set point tetap 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing positif sebesar 5,3 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,22 volt dan output kendali PID sebesar 2,4 volt. Sehingga buangan tekanan air dengan bukaan CVM sebesar 24%.
 4. Kemudian dilakukan pengurangan beban generator dengan menekan tombol OFF sehingga kontaktor terputus dan lampu padam. Pada kondisi tersebut tegangan sistem menjadi 60 volt dengan set point tetap 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing positif sebesar 5,5 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,4 volt dan output kendali PID sebesar 2,8 volt. Sehingga buangan tekanan air dengan bukaan CVM sebesar 28%.
- Nilai pengukuran tegangan setpoint, sensor putaran, error, dan output kendali PID seperti Tabel.III.1

Tabel 2 Nilai Pengukuran

Parameter	Kondisi setting maks	Kondisi setting	Berbeban (3x5 w)
Set point	10	4,1	4,1
Tegangan sensor	8	5,4	5,3
Error	2	1,2	1,2
Output PID	-6	3,6	3,5
Frekuensi	70	50	50
Tegangan generator	85	61	61

IV. KESIMPULAN

1. Pada kondisi awal tegangan yang diharapkan sebesar 60 volt, dengan frekuensi 50 Hz. Proses pengurangan tekanan air dilakukan dengan membukanya CVM sebesar 28%. Dimana Set point diberikan pada summing negative dengan tegangan 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing positif sebesar 5,212 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,378 volt. Kemudian output kendali PID sebesar 2,808 volt.
2. Pada kondisi generator dan turbin dibebani tegangan sistem menjadi 59 volt dari 60 volt dengan set point tetap 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing

- positif sebesar 5,3 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,22 volt dan output kendali PID sebesar 2,4 volt. Sehingga buangan tekanan air dengan bukaan CVM sebesar 24%.
3. Pada kondisi generator dan turbin diputus beban tegangan sistem menjadi 60 volt dengan set point tetap 4,137 volt dan tegangan feed back sensor putaran pada summing positif sebesar 5,5 volt, sehingga error yang terjadi sebesar 1,4 volt dan output kendali PID sebesar 2,8 volt. Sehingga buangan tekanan air dengan bukaan CVM sebesar 28%.

REFERENSI

- [1] Vimal Singh Bisht 1 Y.R Sood2 Nikhil Kushwaha 3 and Suryakant4, 2012, *Review On Electronic Load Controller, International Journal of Scientific Engineering and Technology* (ISSN : 2277-1581) www.ijset.com, Volume No.1, Issue No.2 pg:93-102
- [2] Anisa, Z., Apprianda, A., Novianto, H., & Rachman, I. (2021). *Micro-Hydro Power Plants (MHPP): Technical and Analytical Studies in Creating Experimental Learning Media for Physics Students*. Momentum: Physics Education Journal, 5(1), 53-64
- [3] Woei-Luen Chen and Yuan-Yih Hsu, 2006 “*Experimental Evaluation of an Isolated Induction Generator with Voltage and Frequency Control,*” *International Symposium on Power Electronic, Electrical Drives, Automation and Motion*, pp. 497-502, 2006.
- [4] Supriyanto Praptodiyono, 2021 *Design and Prototyping of Electronic Load Controller for Pico Hydropower System* Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI) Vol. 7, No. 3, December 2021, pp. 461-471, ISSN: 2338-3070.
- [5] Feltes, J and Koritarov, V and Guzowski, L and Kazachkov, Y and Lam, B and Grande-Moran, C and Thomann, G and Eng, L and Trouille, B and Donalek, Pand others, 2013“*Review of existing hydroelectric turbinegovernor simulation models,*” *Argonne National Laboratory (ANL)*]
- [6] Sri Sadono., *Identifikasi Sistem Governor Control Valve Dalam Menjaga Kestabilan Putaran Turbin Uap PLTP Wayang Windu Unit 1*. TEKNOFISIKA, Vol.2 No.3 Edisi September 2013, ISSN 2089-7154
- [7] Muhamad Haddin, Soebagio, Adi Soeprijanto, Mauridhi Hery Purnomo, 2013, *Modeling And Control Of Excitation And Governor Based On Particle Swarm Optimization For Micro Hydro Power Plant*, TELKOMNIKA, Vol.11, No.2, June 2013, pp. 297~304ISSN: 1693-6930.
- [8] Muhammad Hussnain Riaz, 2018, *Micro Hydro Power Plant Dummy Load Controller*, Conference Paper · April 2018, 978-1-5386-5482-8/18/\$31.00 ©2018 IEEE
- [9] Pudjanarsa, Astu. & Nursuhud, Djati, Nursuhud, 2006 “*Mesin Konversi Energi*”, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [10] ION BOLDEA, 2006, *SYNCHRONOUS GENERATORS*, The Electric Generators Handbook, Polytechnical Institute Timisoara, Romania
- [11] **S Bharadwaj Reddy** working as Officer – Instrumentation in Gujarat State Petroleum Corporation Ltd, **InstrumentationTools.com** is a popular technology blog covering various topics of Field & Control Instrumentation engineering Kakinada, Andhra Pradesh, India.

- [12] Texas Instrument. 2014. *Hall-Effect Sensor with PNP or NPN Output* Manual Book.
- [13] Supri Hardi, 2018, *Harmonic Impact in Induction Generator Voltage Using Thyristor Control Reactor*, TELKOMNIKA 16 (3), 1054-1060 | vol: | issue : | 2018

|