

APLIKASI KENDALI HIBRID FUZZY-PID KECEPATAN MOTOR INDUKSI UNTUK PURWARUPA PEMBANGKIT LISTRIK PICO HIDRO BERBASIS PLC

Sarjono Wahyu Jadmiko^{1*}, Sofian Yahya², Kartono Wijayanto³, Haditya Agung⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung
Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Bandung 40012, Kotak Pos 1234
*sarjnpdml@yahoo.com

Abstrak

Energi terbarukan dari hidro, bisa memanfaatkan potensi aliran air saluran irigasi yang selama ini hanya dititikberatkan pada pemanfaatan untuk irigasi pertanian yang banyak tersebar di wilayah Indonesia dengan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Umumnya, PLTPH dioperasikan dengan daya turbin (mekanik) yang relatif konstan, dalam kenyataannya sering terjadi debit air yang masuk ke turbin tidak konstan dan beban konsumen juga selalu berubah-ubah. Tujuan penelitian ini merancang sistem pengendalian turbinnya dengan motor induksi untuk purwarupa PLTPH. Semakin berkembangnya sistem digital, maka memungkinkan untuk penggunaan pengendali Hibrid Fuzzy-PID dengan berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC). Maka pada penelitian ini penulis merancang pengendali penggerak mula (turbin) yang disimulasikan dengan pengaturan motor induksi. Pengendalian kecepatan putaran Motor Induksi menggunakan algoritma PID-Fuzzy telah berhasil dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan motor induksi saat beban berubah putarannya sesuai dengan nilai *set point* (*error* 0%), sementara tanggapan kendali PID-Fuzzy Hybridnya menghasilkan *under shoot* yang lebih cepat dibanding kendali PID tapi tanpa osilasi dengan *settling time* 1 detik.

Kata kunci : PLTPH, Motor Induksi, Hibrid Fuzzy-PID, PLC.

ABSTRACT

Renewable energy from hydro, can harness the potential of water flow irrigation channels that have only focused on utilization for agricultural irrigation are widely spread in Indonesia to create Pico Hydro Power Plant (PLTPH). Generally, PLTPH operated with a power turbine (mechanical) which is relatively constant, in fact frequent flow of water into the turbine is not constant and the consumer loads are also always changing. The research objective is to design turbine control system with induction motor for a prototype PLTPH. The continued development of digital systems, it is possible to use hybrid controller with Fuzzy-PID based Programmable Logic Controller (PLC). So in this research the authors designed controllers prime movers (turbines) are simulated by setting an induction motor. The results show that the rotation of the induction motor at variable load is same to the set point value (error 0%), while the hybrid Fuzzy-PID control response produce the under shoot faster than the PID control but without oscillation with the settling time value of 1 second.

Keywords : PLTPH, Induction Motor, Hybrid Fuzzy-PID, PLC.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Energi listrik merupakan bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan yang serba digital dan ketersediaannya menjadi mutlak. Indonesia dengan sumberdaya air yang melimpah, terutama di wilayah bergunung dapat memenuhi kebutuhan energi listrik lokal yang semakin

meningkat, maka penyediaan listrik mikrohidro menjadi prioritas. Potensi mikrohidro di Indonesia besarnya ± 500 MW, dan baru dimanfaatkan sekitar 20 MW (4%). Sementara jika ditinjau dari pertumbuhan ekonomi nasional rata-rata tumbuh sebesar 6,1% pertahun dan pertumbuhan penduduk secara nasional tumbuh sebesar 1,3% pertahun, prakiraan kebutuhan tenaga listrik nasional sesuai Rencana Umum

Ketenagalistrikan Nasional 2008-2027 diperkirakan akan mencapai rata-rata sebesar 9,2 % per tahun, dan dengan semakin berkurangnya cadangan energi fosil, sehingga pemanfaatan PLTMH menjadi semakin signifikan karena PLTMH memanfaatkan aliran air dari sungai kecil atau saluran irigasi dengan debit yang cukup.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan alternatif pemenuhan kebutuhan energy listrik daerah terpencil yang tidak/belum terjangkau PLN tetapi memiliki potensi hidro. Klasifikasi pembangkit hidro (tenaga air) berdasarkan besar kapasitas daya listrik dibedakan dalam *Large, Medium, Small, Mini, Micro dan Pico Hydro*, untuk PLTMH berkapasitas 100W sampai 5KW. Dan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bank Dunia, dengan memperhatikan rincian proyeksi *life-time cost* dari lima metode pembangkitan energi listrik, bahwa sistem PLTPH memiliki biaya pembangkitan yang paling murah dibandingkan dengan lainnya bila digunakan untuk sistem pembangkitan listrik *off-grid*.

TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mengaplikasikan algoritma *fuzzy logic- PID* pada PLC;
- Menghasilkan respon keluaran putaran motor yang sesuai dengan kebutuhan turbin agar putaran motor sesuai dengan tegangan *set point* ketika beban diubah-ubah.

- Membandingkan respon kecepatan Motor Induksi antara Kendali Fuzzy-PID dengan kendali PID berbasis PLC.

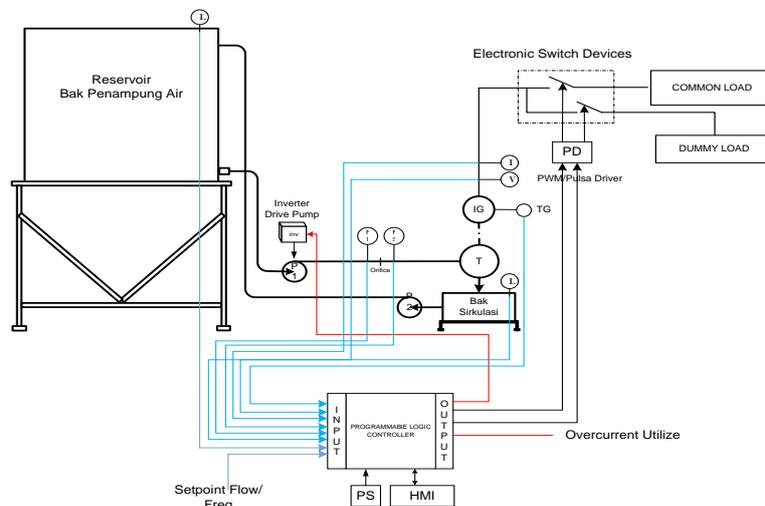
LANDASAN TEORI

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

Pada PLTMH energi air digunakan untuk menggerakkan turbin air dan pada porosnya dipasang generator induksi yang dikonstruksi menggunakan motor asinkron dan kapasitor. Tegangan yang dihasilkan generator ditentukan oleh putaran turbin dan nilai kapasitor serta besarnya beban, sehingga untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi beban yang stabil diperlukan suatu pengaturan terhadap kinerja turbin.

Dalam penelitian ini motor induksi akan digunakan sebagai target pengendalian dan merupakan bagian dari purwarupa PLTMH dimana motor induksi akan dikendalikan menggunakan algoritma *Hybrid Fuzzy logic-PID* yang relatif mudah dalam implementasi dan analisisnya. Realisasi sistem menggunakan Programmable Logic Controller (PLC) melalui inverter (VSD).

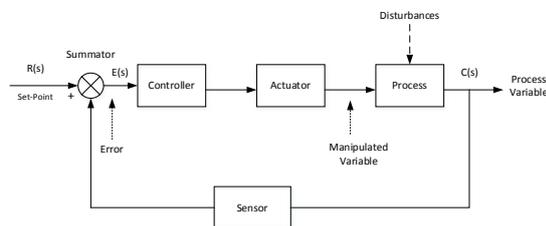
Purwarupa PLTMH terdiri dari motor induksi yang menggerakkan pompa air, dan akan mengalirkan air menuju turbin air, suatu generator induksi diputar oleh turbin dan menghasilkan energi listrik. Air yang keluar dari turbin ditampung pada bak dan disirkulasikan kembali ke bak utama. Purwarupa PLTMH ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Pengendalian Purwarupa PLTMH

Sistem Kendali Loop Tertutup

Sistem kendali loop tertutup merupakan konfigurasi sistem kontrol, dimana kondisi keluaran selalu diukur dan diumpkan balikkan pada bagian input. Sistem umpan balik ini adalah sistem kendali yang mengawasi nilai-nilai keluaran yang aktual dan membandingkan dengan *setpoint* agar tetap pada nilai-nilai yang diinginkan, untuk kemudian mengubah *set aktuator* agar kesalahan (*error*) yang terjadi semakin diperkecil. Sinyal kesalahan (*error*) merupakan selisih antara besaran masukan (*setpoint*) dengan besaran aktualnya. Selisih ini akan mempengaruhi Pada umumnya, sistem kendali *loop* tertutup tahan terhadap gangguan dari luar sehingga dapat mengkompensasi ketidaktepatan di dalam model proses, kesalahan pengukuran, dan gangguan-gangguan yang tidak terukur. Ilustrasi dari sistem kendali *loop* tertutup dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kendali Loop Tertutup

Keuntungan sistem *loop* tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem. Sedangkan kerugiannya adalah tidak dapat mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya

Sistem Kendali PID

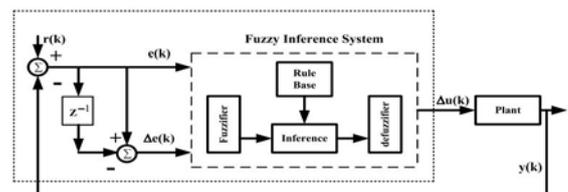
Sistem kendali PID sebenarnya terdiri dari 3 jenis *Controller* dengan cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (*Proportional*) *Controller*, D (*Derivative*) *Controller*, dan I (*Integral*) *Controller*. Dalam implementasinya masing-masing pengendali dapat bekerja sendiri maupun gabungan untuk mendapatkan respon pengendali yang bagus dan handal. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *risetime* yang cepat, aksi kontrol integral mempunyai keunggulan untuk memperkecil

error, dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *over/under shoot*.

Sistem Kendali Hibrid Fuzzy-PID

Secara umum sistem yang akan dikendalikan adalah adalah bersifat *rumit*, *time invariant*, *nonlinear*, adanya *delay*, dan hanya sedikit informasi dinamikanya. Akibatnya, metodologi pengendalian konvensional yang berbasis pada teori sistem linear melakukan penyederhanaan/linearisasi pada sistem nonlinear sebelum digunakan, meskipun tanpa suatu jaminan untuk menghasilkan performa yang baik dalam mengendalikan sistem nonlinear secara sempurna. Untuk mengendalikan sistem nonlinear dengan memuaskan, pengendali nonlinear sering dikembangkan. Kesulitan utama dalam merancang pengendali nonlinear adalah tidak adanya struktur yang umum.

Pengendali Fuzzy-PID adalah salah satu alternatif yang dapat memperbaiki performa respon sistem, baik *transient* maupun *steady state*, bila dibandingkan dengan respon sistem yang diperoleh dari pengendali PID atau Fuzzy saja. Pada beberapa literatur pengendalian dengan metoda Fuzzy PID dapat diklasifikasikan atas tiga katagori utama, yaitu *direct action type*, *fuzzy gain scheduling type*, and *hybrid typefuzzy PID controllers*. Diagram blok pengendalian logika Fuzzy ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Pengendalian Fuzzy

Fuzzifikasi merupakan metode yang digunakan untuk mengubah nilai masukan *crisp* menjadi nilai *fuzzy*. Perancangan sistem *fuzzy* memiliki dua fungsi keanggotaan masukan (Error dan DError). Nilai Error dan DError sistem diperoleh melalui persamaan dibawah ini:

$$\text{Error} = \text{SP} - \text{PV} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

SP (*Set Point*) = Nilai tegangan yang diinginkan

PV (*Process Value*) = Nilai aktual putaran motor

Sedangkan, nilai untuk DError diperoleh melalui persamaan berikut ini:

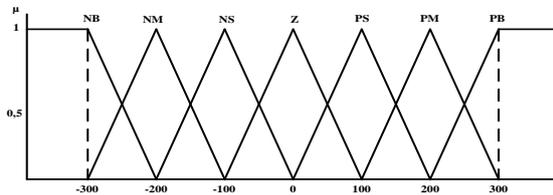
$$D\text{Error} = \text{Error}(n) - \text{Error}(n-1) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan:

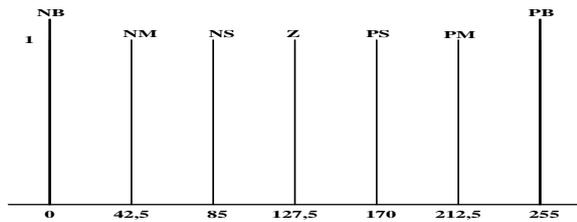
Error(n) = Error saat ini

Error (n-1) = Error sebelumnya

Fungsi keanggotaan Error dan Derror ditunjukkan pada gambar 4 dan fungsi keanggotaan output ditunjukkan pada gambar 5.



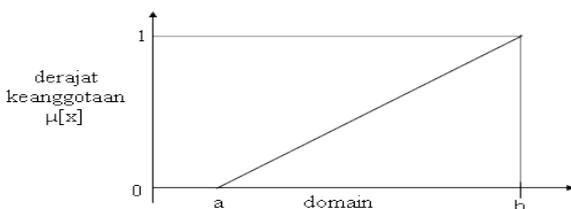
Gambar 4. Fungsi keanggotaan Error dan Derror



Gambar 5. Fungsi keanggotaan output

Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi diantaranya seperti Representasi Kurva Segitiga, Representasi Kurva Bentuk Bahu, Representasi Kurva-S, dan Representasi Kurva Bentuk Lonceng. Gambar 6 menunjukkan contoh fungsi keanggotaan dengan Representasi kurva Segitiga.



Gambar 6. Representasi Segitiga

Fungsi Keanggotaan

$$U(x) \begin{cases} 0; & x \leq a \\ (x-a)/(x-b); & a \leq x \leq b \end{cases} \dots\dots\dots(3)$$

Defuzzifikasi

Metode yang digunakan adalah rata-rata terbobot (*weight average*). Metode ini merupakan sebuah proses untuk mencari nilai keluaran tunggal yang tegas diperoleh dengan menjumlahkan perkalian antara masing-masing nilai *fuzzy* dari setiap fungsi keanggotaan dengan nilai tegas *fuzzy* dibagi dengan jumlah nilai-nilai *fuzzy*. Pendekatan matematis dari metode *weight average* adalah sebagai berikut:

$$z = \frac{((C1 \times Z1) + (C2 \times Z2) + (C3 \times Z3) + \dots + (C49 \times Z49))}{C1 + C2 + C3 + \dots + C49} \dots\dots\dots(4)$$

Programmable Logic Controller (PLC)

PLC merupakan peralatan digital berbasis prosessor dan berbasis program dalam penggunaannya. Terdapat beberapa metoda pemrograman PLC, dan berdasarkan IEC (*International Electrical Commission*) 61131-3, terdapat lima metoda yaitu:

- 1) *Instruction List* (Daftar Instruksi) merupakan pemrograman dengan menggunakan instruksi-instruksi bahasa level rendah (*mnemonic*), seperti LD/STR, NOT, AND, dan sebagainya.
- 2) *Ladder Digram* (Diagram Tangga) merupakan pemrograman berbasis logika relai, cocok digunakan untuk persolan-persoalan kontrol diskrit yang kondisi input outputnya hanya memiliki dua kondisi yaitu ON dan OFF, seperti pada sistem kontrol konveyor, lift, dan motor-motor industri.
- 3) *Function Block Diagram* (Diagram Blok Fungsional) merupakan pemrograman berbasis aliran data secara grafis. Banyak digunakan untuk tujuan kontrol proses yang melibatkan perhitungan-perhitungan kompleks dan akuisisi data analog.
- 4) *Sequential Function Charts* (Diagram Fungsi Sekuensial) merupakan metode grafis untuk pemrograman terstruktur yang banyak melibatkan langkah-langkah rumit, seperti bidang robotika, perakitan kendaraan, dan *batch control*.
- 5) *Structured Text* (Teks Terstruktur) merupakan pemrograman yang menggunakan statemen-statement yang umum dijumpai pada

bahasa level tinggi (high level programming) seperti If/Then, Do/While, Case, For/Next, dan sebagainya. Dalam aplikasinya, model ini cocok digunakan untuk perhitungan-perhitungan matematis yang kompleks, pemrosesan tabel dan data, serta fungsi-fungsi kontrol yang memerlukan algoritma khusus.

Model *function block* dan *structured text* digunakan sebagai cara untuk menuliskan program menggunakan bahasa level tinggi. Gambar 7 menunjukkan pemrograman dengan model *function block* yang di dalamnya diprogram dengan metode *structured text*.

```

ST program:
IF score > setover THEN          (* If score > setover *)
  underNG := FALSE;             (* Turn off underNG *)
  OK := FALSE;                  (* Turn off OK *)
  overNG := TRUE;              (* Turn on overNG *)
ELSIF score < setunder THEN      (* If score <= setover and score < setunder then *)
  overNG := FALSE;             (* Turn on overNG *)
  OK := FALSE;                  (* Turn off OK *)
  underNG := TRUE;             (* Turn on underNG *)
ELSE                              (* If setover > score > setunder then *)
  underNG := FALSE;            (* Turn off underNG *)
  overNG := FALSE;            (* Turn off overNG *)
  OK := TRUE;                   (* Turn off OK *)
END_IF;                          (* end of IF section *)
    
```

Gambar 7. Program Structure Text

Motor Induksi 3Fasa

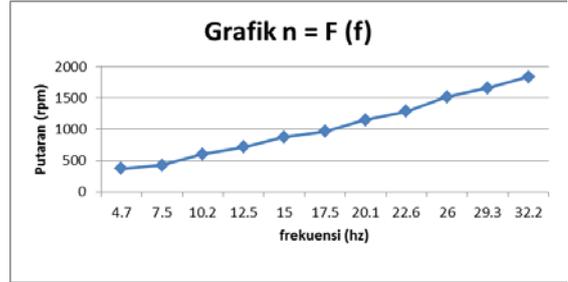
Motor induksi tiga fasa merupakan motor listrik arus bolak-balik (AC) yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Motor Induksi mempunyai keunggulan disbanding motor arus searah adalah konstruksi yang kompak, ukuran berat/daya lebih kecil, tidak mengeluarkan percikan bunga api, tidak menggunakan sikat arang, konstruksi sederhana, perawatan mudah, dan efisiensi. Selain mempunyai kelebihan, motor induksi juga mempunyai kekurangan dalam hal torsi dan pengaturan kecepatannya. Kekurangan tersebut dapat teratasi dengan menggunakan inverter dimana kecepatan motor induksi dapat diatur dalam jangkauan yang sangat lebar.

Kecepatan medan putar tergantung pada jumlah kutub stator dan frekuensi sumber dayanya. Kecepatan ini disebut kecepatan sinkron, yang ditentukan dengan rumus:

$$N_s = \frac{120 f}{p} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana N_s adalah kecepatan sinkron (rpm), f adalah frekuensi sumber daya (Hz), dan P adalah jumlah kutub stator.

Karakteristik putaran motor sebagai fungsi frekuensi ditunjukkan pada gambar 8.

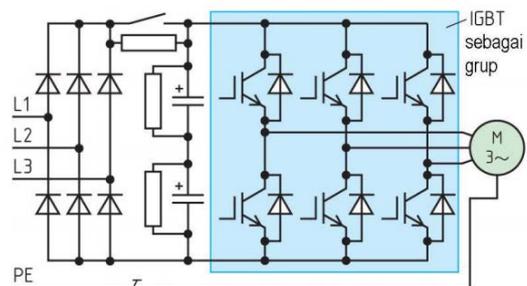


Gambar 8. Karakteristik putaran = f (Hz)

Variable Speed Drive

Inverter merupakan suatu rangkaian atau peralatan yang digunakan untuk mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi sumber tegangan bolak-balik (AC) dan frekuensi berubah dengan perbandingan antara tegangan dan frekuensi tetap (v/f konstan). Komponen semikonduktor daya yang digunakan umumnya berupa Power Transistor, IGBT dan MOSFET yang beroperasi sebagai komponen sakelar. Inverter seringkali disebut sebagai *Variabel Speed Drive (VSD)* atau *Variable Frequency Drive (VFD)*.

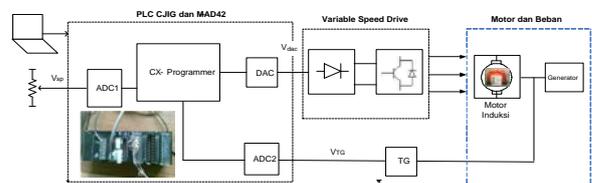
Inverter menggunakan rangkaian daya berupa jembatan 3 fasa dimana setiap sakelar akan dipicu menggunakan teknik PWM (Pulse Width Modulation) untuk menghasilkan tegangan keluaran sinusoidal dengan harmonisa rendah seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Struktur Inverter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan kendali motor induksi 3 fasa diperlihatkan pada gambar 10.

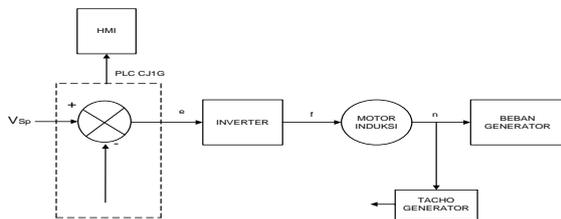


Gambar 10. Struktur pengendalian

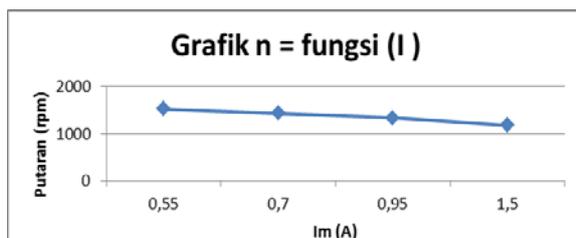
Rancangan pengendalian motor induksi terdiri atas *software Cx programmer*, PLC Omron CJ1G dan modul analog MAD42, VSD Teco FM50, Motor induksi 3 fasa, generator sinkron dan tachogenerator. PLC deprogram untuk pengendali dengan metode PID - *fuzzy hybrid*. Motor induksi dihubungkan dengan generator untuk memberikan beban pada motor induksi tersebut. Pada bagian rotor dari generator dihubungkan dengan tachogenerator sebagai sensor putaran yang diubah menjadi tegangan. Keluaran dari tachogenerator dihubungkan kembali dengan MAD 42 (sebagai *feedback*).

Perancangan Kecepatan Motor Induksi Tanpa Pengendali Saat Berbeban

Blok diagram perancangan kecepatan motor ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Perancangan Kecepatan Motor Induksi saat Berbeban



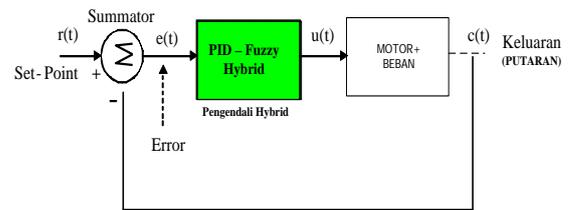
Gambar 12. Karakteristik Putaran terhadap Arus tanpa pengendali saat berbeban

Gambar 12 menunjukkan tanggapan kecepatan Motor tanpa pengendali, saat perubahan beban $I_m = 0,65$ A berubah menjadi $I_m = 1,3$ A. $V_{tg} = 1,19$ menjadi $1,02$ V dengan Error yang dihasilkan = 12 %.

Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan Kendali PID - *Fuzzy Hybrid* pada motor induksi 3 fasa dilakukan dengan beberapa tahap, dimana pada pengendali PID dilakukan dengan metode kurva reaksi sedangkan pada Kendali *Fuzzy* dilakukan dengan melihat tanggapan respon saat dibebani. Setelah itu, dilakukan penggabungan Kendali

PID dan Kendali *Fuzzy*. Gambar 13 menunjukkan diagram Strategi Pengendalian PID-*Fuzzy Hybrid*.



Gambar 13. Strategi Pengendalian PID - *Fuzzy Hybrid*

Perancangan Sistem Kendali PID

Penentuan Nilai parameter proposional K_p , waktu integrasi T_i dan T_d dilakukan dengan cara metode kurva reaksi yang didapat dari tanggapan respon pada saat *loop* terbuka sebagai berikut :

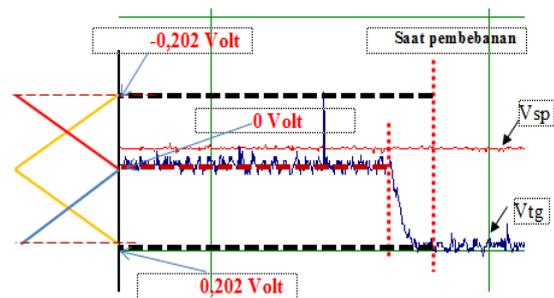
$$4.5 \text{ cm} = 1 \text{ detik}$$

$$L = 1,08 \text{ cm, maka } \frac{1,08}{4,5} \times 1 = 0,24 \text{ detik}$$

$$T = 2,745 \text{ cm, maka } \frac{2,745}{4,5} \times 1 = 0,61 \text{ detik}$$

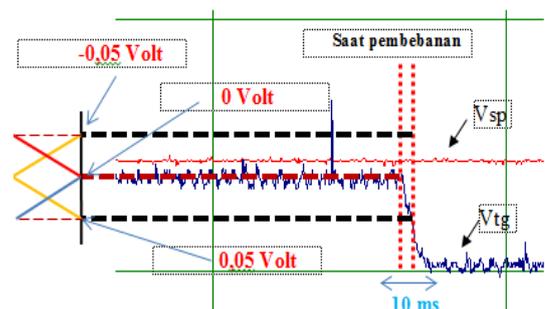
Perancangan Sistem Kendali *Fuzzy*

Gambar 14 menunjukkan tanggapan sistem untuk menentukan nilai error dalam *fuzzy*.

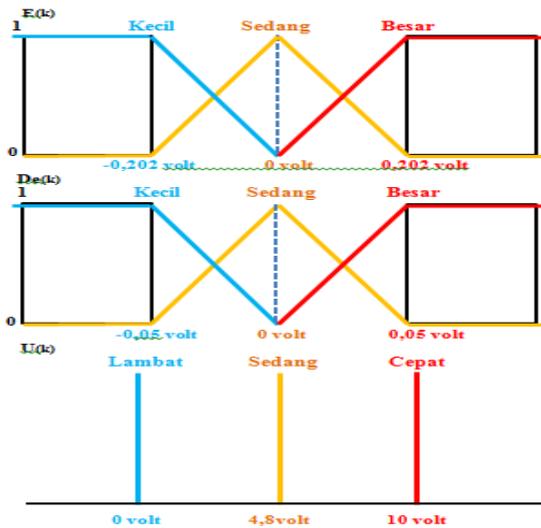


Gambar 14. Penentuan nilai *Error*

Gambar 15 menunjukkan tanggapan sistem untuk menentukan nilai *Derror* dalam *fuzzy*.



Gambar 15. Penentuan nilai *Error*



Gambar 16. Bentuk Himpunan Sistem Kendali *Fuzzy*

Hasil bentuk himpunan Fuzzy dan hasil aturan dasar Fuzzy dapat ditunjukkan gambar 16 dan tabel 1.

Tabel 1. Aturan Dasar *Fuzzy Logic*

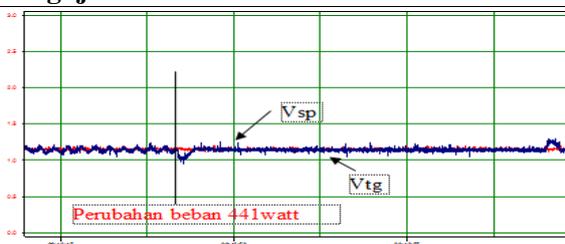
	E(k) Kecil	E(k) sedang	E(k) besar
De(k) Kecil	L	S	C
De(k) Kecil	L	S	C
De(k) Kecil	S	S	C

Perancangan Sistem kendali PID – *Fuzzy Hybrid*

Pemrograman PID–*Fuzzy hybrid* dibuat dengan menggabungkan kendali PID sebagai kendali utama dengan kendali fuzzy logic. Sistem kendali ini merupakan gabungan/hasil penjumlahan dari output yang dihasilkan oleh kendali PID dengan kendali logika fuzzy yang bertujuan untuk meredam *disturbance* dengan cepat dan juga untuk menambah kestabilan.

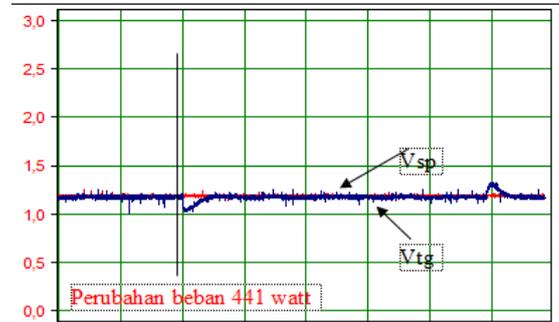
Pada Pengendali PID–*Fuzzy Hybrid* nilai dari *range* himpunan *fuzzy*, dibagi 2 dari nilai *fuzzy* yang didapat melalui tanggapan respon motor induksi.

Pengujian



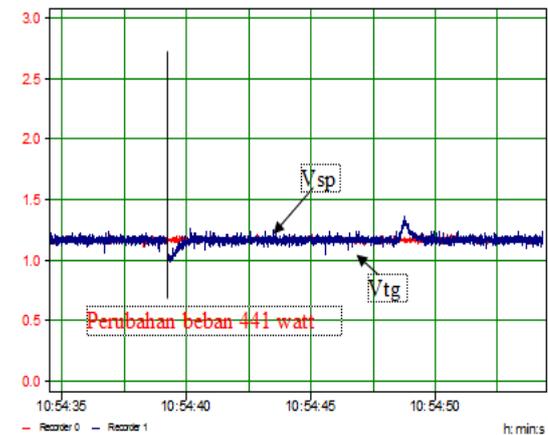
Gambar 17. Tanggapan Pengendali PID

Hasil Tanggapan Pengendali PID pada gambar 17 menghasilkan nilai *%Undershoot* = 14,1 % , *Settling time* = 1,03 detik, dan *Error* = 0%



Gambar 18. Tanggapan Pengendali *Fuzzy*

Hasil Tanggapan Pengendali PID adalah *%Undershoot* = 13,2 % , *Settling time* = 1,5 detik, dan *Error* = 0% dapat ditunjukkan pada gambar 18 .



Gambar 16. Tanggapan Respon PID – *Fuzzy Hybrid*

Hasil Tanggapan Pengendali PID adalah *%Undershoot* = 13,2 % , *Settling time* = 1,00 detik, dan *Error* = 0% dapat ditunjukkan pada gambar 18.

Hasil Analisa Perbandingan tanggapan sistem pengendali dari tabel 2 menunjukkan bahwa :

- 1) Penggunaan Pengendali PID-*Fuzzy Hybrid* , dapat menghilangkan osilasi pada saat kondisi *steady state* dibandingkan pada Pengendali PID,
- 2) Pengendali PID–*Fuzzy Hybrid* butuh waktu *settling time* yang sama dengan pengendali PID dan lebih baik dari Pengendali Fuzzy.

3) Pengendali PID–*Fuzzy Hybrid* mempunyai besar *undershoot* yang sama dengan Pengendali Fuzzy dan lebih kecil dari Pengendali PID.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Tanggapan Sistem Pengendali saat Berbeban

Ukuran Performansi	Tanpa Pengendali	Pengendali PID	Pengendali Fuzzy	Pengendali Fuzzy-PID
Settling Time (detik)	-	1,03 detik	1,5 detik	1 detik
Under Overshoot (%)	-	14,1 %	13,2 %	13,2 %
Error (%)	12%	0 %	0 %	0 %
Kestabilan	Tidak terjadi osilasi	Setelah Saat overshoot settling time terjadi osilasi	Terjadi osilasi bila beban kecil	Cepat tidak terjadi osilasi

SIMPULAN DAN SARAN

- 1) Pengendalian kecepatan putaran Motor Induksi menggunakan algoritma PID-Fuzzy telah berhasil dilakukan.
- 2) Besar putaran motor yang dihasilkan sesuai nilai set point dengan error 0% saat beban berubah.
- 3) Sistem Kendali PID–*Fuzzy Hybrid* menghasilkan *under shoot* yang sama dengan kendali PID tapi tanpa osilasi dan menghasilkan *settling time* yang lebih cepat saat beban berubah 50%.

DAFTAR PUSTAKA

- ESDM, "Master Plan Pembangunan Ketenagalistrikan 2010 s.d 2014," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Jakarta, 2009
- Arifin, Andi., 2010, "*Motor Induksi 3 Fasa*", Modul Kuliah, Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara..
- Yahya, Sofian., 2014, "*Logika Fuzzy*", Modul Kuliah, Teknik Otomasi Industri Politeknik Negeri Bandung.
- Prabowo, Gigih., 2012, "*Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Phase Menggunakan PI - Fuzzy Berbasis PCI*", Penelitian, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Dorjee, Rinchen Geongmit, 2014., "*PLC and Fuzzy Logic Control of a Variable Frequency Drive*", *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Advanced Technical Training Centre, Bardang, Singtam, Sikkim, India.
- Septa, Deni., 2012., "*Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 ϕ dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC)*", Tugas Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, ITS.
- Mudia, Halim., 2012, "*Perancangan Dan Implementasi Kontroler Pid Adaptif Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, ITS.
-, 2010, "*Sysmac CJ Serie CJ1G Programmable Controller Operation Manual*", OMRON., February
-, 2008, "*Sysmac CS/CJ Serie CJ1G CJIW-MAD42 analog I/O Units Programmable Controller Operation Manual*", OMRON, Nopember
-, 2010, "*CX-Programmer 9.4 CX-One, manual program*", OMRON, September,
- Ogata, K., 1997, "*Modern Control Engineering third edition*", Prentice Hall, New Jersey.
- Bolton, W., 2004, "*Instrumentation and Control System*", ISBN: 0750664320, Publisher: Elsevier Science & Technology Books, England
- Isin, E., Ibrahim, E., Engin, Y., Mujde, G." *An Intelligent Hybrid Fuzzy PID Controller*", Proceedings 20th European Conference on Modelling and Simulation Wolfgang Borutzky, Alessandra Orsoni, 2006
- Abdullah I. Al-Odienat, Ayman A. Al-Lawama. "*The Advantages of PID Fuzzy Controllers Over The Conventional Types*," American Journal of Applied Sciences 5 (6): 653-658, 2008