

Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode PID *Fuzzy*

Trio Yus Peristiaferi, Rusdhianto Effendie AK, dan Josaphat Pramudijanto
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: rusdhi@ee.its.ac.id, jos@ee.its.ac.id

Abstrak—Motor induksi 3 fasa merupakan motor penggerak yang banyak digunakan di industri, salah satunya pada industri pabrik gula. Di industri pabrik gula motor induksi 3 fasa digunakan pada mesin sentrifugal. Mesin ini digunakan pada proses pemisahan cairan nira kental dan *strup* hingga didapat kristal gula. Mayoritas pengaturan kecepatan motor induksi di pabrik gula masih dilakukan secara manual, yaitu dengan merubah posisi puli atau ukuran poros dari mesin sentrifugal. Pengaturan dengan metode ini mengakibatkan kecepatan motor akan sulit dikendalikan sesuai dengan yang diharapkan. Pengaturan kecepatan yang tidak tepat juga dapat mengakibatkan hasil produksi gula yang kurang maksimal. Oleh karena itu dibutuhkan metode kontrol untuk mempertahankan kecepatan motor bila terjadi perubahan beban saat mengalami proses *starting*, *spinning* dan *breaking*. Metode kontroler yang digunakan adalah metode PID *Fuzzy*. Pada simulasi dan implementasi menggunakan kontroler PID *Fuzzy* diperoleh rata-rata *error* saat proses *starting*, *spinning* dan *breaking* sebesar 0,51 % dan 1,06 %. Sehingga Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk meningkatkan efisiensi mesin sentrifugal pada pabrik gula.

Kata Kunci — Mesin Sentrifugal, PID *Fuzzy*, PLC *Q-Series*

I. PENDAHULUAN

MOTOR induksi tiga fasa adalah motor elektrik yang sering digunakan di dunia industri. Hal ini dikarenakan harganya relatif murah, memiliki kehandalan yang baik, serta perawatannya yang mudah. Salah satu penggunaan motor induksi yaitu pada mesin sentrifugal pada pabrik gula. Mesin ini digunakan untuk proses pemisahan cairan nira kental dengan *strup* agar didapat kristal gula. Pada proses sentrifugal ini membutuhkan pengaturan kecepatan yang sesuai dengan yang diperlukan yakni *starting*, *spinning*, dan *breaking*.

Pada penerapannya motor induksi memiliki kelemahan yaitu tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Hal tersebut terjadi karena sifat yang dimiliki dari motor induksi yaitu tidak adanya hubungan yang linear antara arus motor dengan torsi yang dihasilkan. Dalam mengatasi hal tersebut, dibutuhkan suatu kontroler yang dapat mengatur dan mempertahankan kecepatan motor induksi agar tetap konstan serta memperbaiki kinerja dari motor induksi tersebut.

Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan suatu cara untuk mengatur kecepatan dari mesin sentrifugal agar dapat mempertahankan kecepatan meskipun terjadi perubahan beban

sehingga waktu *interval* yang dibutuhkan untuk mesin sentrifugal dapat sesuai dengan yang dibutuhkan. Karakteristik proses sentrifugal yang *tracking* membutuhkan sebuah kontroler yang cerdas. Maka metode kontrol yang akan digunakan adalah PID *Fuzzy*.

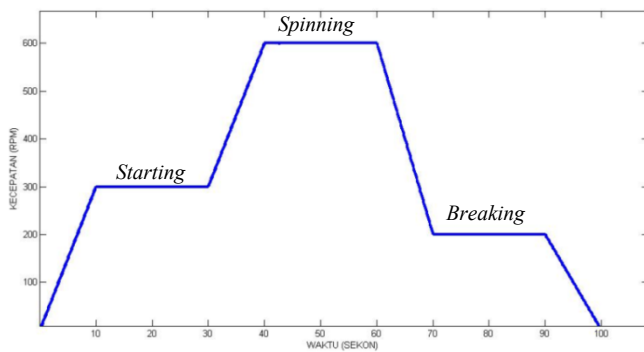
Melalui penelitian ini diharap dapat menjadi referensi untuk menangani masalah pengaturan kecepatan motor pada mesin sentrifugal ini secara baik. Selain itu juga diharapkan dapat membantu meningkatkan efisiensi mesin sentrifugal pada Pabrik Gula.

II. DESKRIPSI PERMASALAHAN

Gaya sentrifugal (F_s) adalah gaya gerak melingkar yang berputar menjauhi pusat lingkaran dimana nilainya adalah positif. Pada proses produksi di pabrik gula secara garis besar dibagi menjadi empat tahapan proses, yaitu ekstraksi tebu menjadi nira mentah (*gilingan*), nira mentah menjadi nira encer (*pemurnian*), nira encer menjadi nira kental (*penguapan*), nira kental menjadi gula kristal (*kristalisasi* dan *pemisahan*). Pada proses nira kental menjadi gula kristal membutuhkan sebuah mesin sentrifugal. Pada alat sentrifugal ini memiliki saringan, sistem kerjanya yaitu dengan menggunakan gaya sentrifugal sehingga ketika diputar maka larutan akan tersaring dan kristal gula tertinggal dalam mesin ini. Proses ini mirip dengan alat pengering pada mesin cuci.

Proses sentrifugal adalah suatu proses yang relatif sulit karena pada proses ini perlu dilakukan pengaturan percepatan dan perlambatan dari beban yang memiliki inersia yang tinggi dan berubah pada setiap tahapan *starting*, *spinning* dan *breaking* dalam satu siklus operasional mesin sentrifugal.

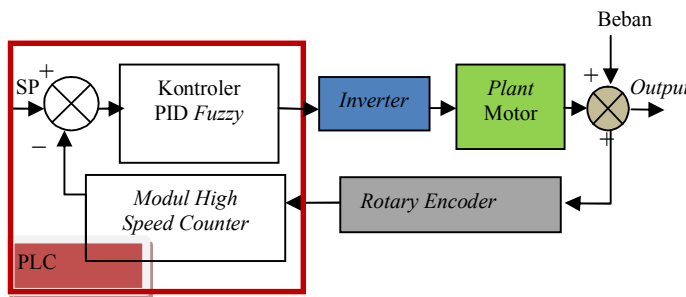
Pada pengaturan kecepatan sebelumnya suatu mesin sentrifugal umumnya dilakukan secara mekanik yaitu dengan cara merubah puli atau ukuran poros dari mesin sentrifugal. Pengaturan motor dengan metode ini mengakibatkan arus awal yang sangat tinggi diambil dari jaringan listrik terutama pada saat sentrifugal melakukan percepatan dan penggantian kutub. Secara periodik selama proses sentrifugal berlangsung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, terus-menerus terjadi pembebanan lebih pada komponen breaker, kontaktor, transmisi mesin dan juga pada motor induksi itu sendiri. Hal inilah yang menyebabkan biaya perawatan yang tinggi pada mesin sentrifugal [1].



Gambar 1. Setting kecepatan motor sentrifugal

III. PERANCANGAN SISTEM

Sistem yang dirancang adalah sistem untuk mengendalikan tracking kecepatan motor induksi tiga fasa pada plant sentrifugal. Waktu yang dibutuhkan setiap siklus ini tergantung dari inersia mesin sentrifugal yang digunakan. Selain itu tahapan dalam proses sentrifugal seperti *starting*, *spinning* dan *breaking* juga berbeda-beda pada setiap mesin sentrifugal, hal tersebut tergantung dari kualitas nira kental yang diputar.



Gambar 2. Blok sistem kontrol pengaturan kecepatan mesin sentrifugal

PC digunakan untuk memonitoring nilai *setpoint* (SP), *present value* (PV), *error*, dan parameter kontrol. Kontroler PID Fuzzy terdapat pada program PLC yang secara langsung mengatur kecepatan motor induksi 3 fasa agar sesuai dengan *input* yang diinginkan. Sinyal kontrol dari PID Fuzzy berupa tegangan 0 – 5 VDC. Tegangan ini yang akan masuk ke *inverter* untuk diubah menjadi frekuensi (Hz). Tegangan DC yang dapat terbaca oleh *inverter* berkisar antara 0 sampai 10 V dengan *range* frekuensi yang dihasilkan sebesar 0 – 50 Hz. Hal ini tidak sesuai dengan spesifikasi *inverter*. Oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian penguat tegangan dua kali agar tegangan DC yang dikeluarkan PLC menjadi 0 – 10 volt. Saat *inverter* mendapatkan tegangan DC yang sesuai maka tegangan tersebut akan diubah menjadi frekuensi (Hz), sehingga dapat memutar motor induksi 3 fasa. Poros motor induksi dirancang dikopel dengan sensor *rotary encoder* yang dapat mendeteksi kecepatan (rpm) dengan cara mengkonversi jumlah pulsa yang dihasilkan dalam setiap putaran motor. *Output* sensor *rotary encoder* dapat langsung dibaca oleh modul QD62 (*High Speed Counter*) yang ada pada PLC Mitsubishi untuk diproses sebagai sinyal *feedback*.

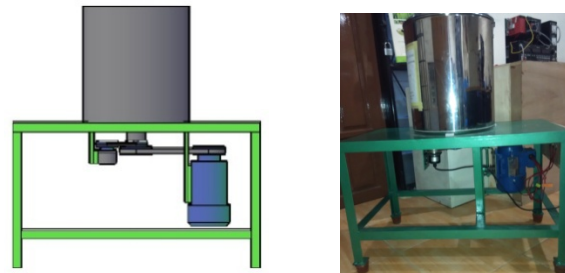
A. Programable Logic Controller

PLC (*Programable Logic Controller*) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara *digital* dan didesain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal. Instruksi-instruksi yang ada, mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul-modul I/O *digital* maupun *analog*. PLC akan digunakan sebagai *controller* pada penelitian ini. Spesifikasi dari modul-modul yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Power supply* (Q61P): masukan *power supply* (100 – 240VAC), keluaran 5VDC (6A).
2. CPU (Q02HCPU): kapasitas program (28 *kstep*), kecepatan pemrosesan (0,034 μ sec), tipe memori (standar ROM).
3. *Digital input* (QX42): terdiri dari 64 *point*, 32 *point* dan 32 *common*, dengan tegangan 24VDC *input* (4mA), dan tipe pengkabelanya menggunakan *sink type*.
4. *Digital output* (QY42P): terdiri dari 64 *point*, 32 *point* dan 32 *common*, dengan tegangan 12 to 24 VDC, Dan sudah didukung dengan perlindungan *termal* dan *short circuit* serta tegangan kejut.
5. *Analog Output* (Q64DA): total *channel analog* (2 ch), *range* konversi dari *digital* ke *analog* adalah 0 – 5 VDC *linier* dengan nilai *digital* 0 – 4000.
6. *High Speed Counter* (QD62): membutuhkan *supply* 24VDC dan dapat mengolah sinyal pulsa A dan B.

B. Mesin Sentrifugal

Mesin sentrifugal yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah mesin yang baru dibuat. Mesin sentrifugal ini dibuat dengan mekanik yang lebih kokoh daripada mesin sentrifugal sebelumnya[1][2]. Mesin yang dibuat berbahan stainless dan berbentuk tabung. Didalam mesin ini terdapat tabung stainless berukuran lebih kecil dari tabung luar dan terdapat lubang-lubang kecil. Selain itu juga terdapat saluran untuk keluarnya air dari proses sentrifugal. Berikut ini mesin sentrifugal yang telah dibuat dan digunakan pada Tugas Akhir yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Prototipe dan desain mesin sentrifugal

C. Identifikasi Sistem

Identifikasi merupakan proses yang cukup penting dalam siklus perancangan sistem pengaturan. Pada penelitian ini identifikasi yang digunakan adalah identifikasi statis.

Pembebanan dilakukan pada saat melakukan identifikasi *plant*. Hal ini dilakukan untuk melihat karakteristik respon

plant pada tiap-tiap kondisi beban. Pembebanan dilakukan dengan memberikan beban eksternal pada plant. Terdapat tiga kondisi dalam metode pembebanan yang dilakukan pada identifikasi plant, yaitu:

1. Kondisi beban minimal : Kondisi ketika didalam chamber berisi beban 1 kg.
2. Kondisi beban nominal : Kondisi ketika didalam chamber terdapat beban 5 kg.
3. Kondisi beban maksimal : Kondisi ketika di dalam chamber berisi beban 8,5 kg .

D. Metode Identifikasi

Proses identifikasi dilakukan secara *open loop* dan statis dengan memberikan sinyal *step* dan melihat respon berupa kecepatan. Sinyal *input* didapat dari *setpoint* yang diberikan pada *PLC*, kemudian hasil respon *plant* yang terbaca oleh *rotary encoder* yang selanjutnya akan ditampilkan pada komputer melalui proses akuisisi data dengan *PLC Mitsubishi*. Pengambilan data untuk proses identifikasi dilakukan sebanyak 3 kali untuk masing - masing kondisi berbeban (minimal, nominal, dan maksimal).

Tiga metode identifikasi diterapkan pada satu sampel data untuk didapatkan metode yang paling sesuai. Hasil nilai RMSE terkecil dari berbagai macam metode ini kemudian diterapkan pada dua sampel data yang lainnya. Ketiga metode identifikasi tersebut adalah metode Viteckova orde 2, Latzel, dan Strecj's. Metode Strecj's dipilih karena memiliki validasi nilai RMSE yang paling kecil dari kedua metode yang lain.

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, validasi dilakukan dengan cara mengambil data sebanyak 3 kali untuk tiap kondisi berbeban, dimana setiap data yang diambil dilakukan proses identifikasi untuk mendapatkan model matematika *plant*. Sehingga didapat total 3 model matematis pada berbagai kondisi berbeban (minimal, nominal, maksimal) dengan nilai RMSE terkecil. Pada tabel 1 adalah hasil identifikasi untuk kondisi berbeban.

Tabel 1.

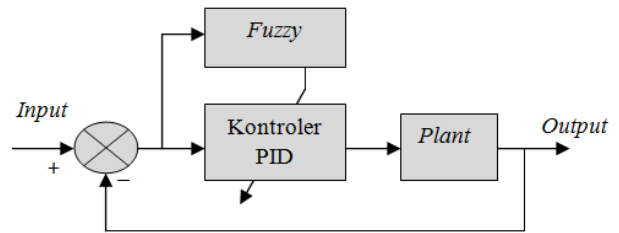
Hasil Identifikasi Statis Motor Sentrifugal Berbeban			
No	Kondisi Pembebanan	Persamaan Model <i>Plant</i>	RMSE
1	Minimal	$G(s) = \frac{1,095}{0,042 S^2 + 0,707s + 1}$	3,314
2	Nominal	$G(s) = \frac{1,095}{0,431 S^2 + 1,314s + 1}$	2,468
3	Maksimal	$G(s) = \frac{1,095}{3,305S^2 + 1,104 s + 1}$	2,664

E. Perancangan Kontroler PID Fuzzy

Perancangan kontroler PID dilakukan secara analitik. Pencarian parameter kontroler K_p , τ_i , dan τ_d disesuaikan dengan model *plant*. Pada penelitian ini pencarian parameter kontroler PID dilakukan pada model tiap-tiap kondisi beban. Parameter kontroler PID yang telah didapatkan dipergunakan sebagai batasan dalam perancangan mekanisme penalaran parameter PID.

Dalam sistem ini kendali utama adalah kendali PID sedangkan kendali logika fuzzy bekerja membantu untuk meminimalkan *overshoot/undershoot* yang terjadi dan juga meminimalkan *recovery time* dari respon sistem. Sistem kendali logika *fuzzy* yang didesain mempunyai 2 *input* yaitu

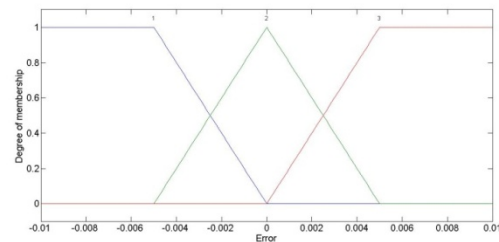
error dan delta error. Error adalah selisih antara *setpoint* dan respon kecepatan motor. Sedangkan delta error adalah selisih antara pengukuran error sekarang dan error sebelumnya.. Konfigurasi sistem PID *Fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok diagram PID Fuzzy

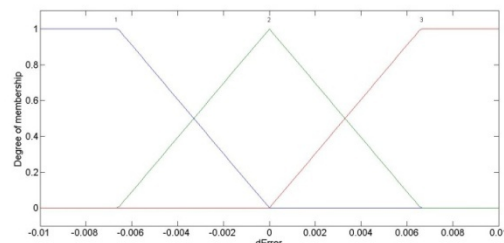
Pembentukan fungsi keanggotaan masukan dan keluaran didasarkan pada parameter PID yang telah didapatkan untuk kondisi beban minimal, nominal, dan maksimal. Perancangan dilakukan pada fungsi keanggotaan masukan, fungsi keanggotaan keluaran, *rule-base* dan normalisasi .

Input pada logika *fuzzy* untuk menalar parameter K_p , τ_i , dan τ_d berupa *error* (e) dan delta *error* (Δe) yang dibagi dalam 3 *linguistic term* yaitu minimal, nominal, dan maksimal seperti pada gambar 5 dan gambar 6.



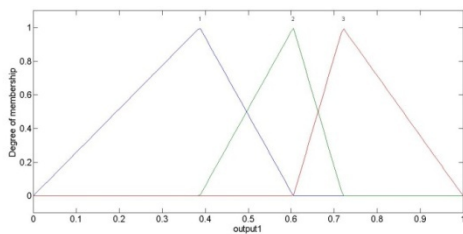
Gambar 5. Membership function error (e)

Dari data perhitungan, nilai *error* dan delta *error* diperoleh nilai antara -0,005 sampai 0,005 dan -0,0066 sampai 0,0066. Nilai ternormalisasi K_e sebesar 200 dan data ternormalisasi K_{de} sebesar 150. Nilai linguistik dari fungsi keanggotaan didefinisikan dengan angka 1, 2, dan 3. Untuk nilai 1 Negatif (N), nilai 2 Zero (Z), dan nilai 3 Positif (P).

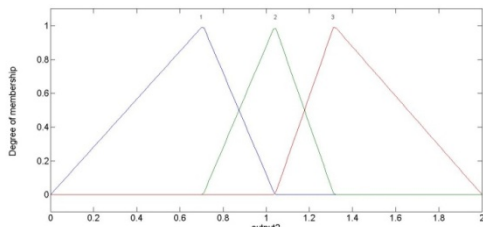


Gambar 6. Membership function delta error (Δe)

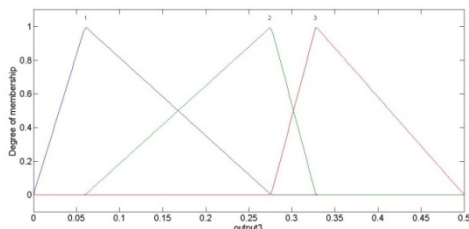
Fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* berupa sinyal kontrol. Dalam hal ini sinyal kontrol berupa penguat. Fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* di definisikan dengan penguat K_p , τ_i , τ_d untuk beban minimal, beban nominal, dan beban maksimal. Nilai *linguistik* dari fungsi keanggotaan keluaran *Fuzzy* didefinisikan dengan 1 (kecil), 2 (sedang), dan 3 (besar).



Gambar 7. Fungsi keanggotaan keluaran K_p



Gambar 8. Fungsi keanggotaan keluaran τ_i



Gambar 9. Fungsi keanggotaan keluaran τ_d

Format *rule base* yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini adalah format tabular. Di mana terdapat 9 *rule base* untuk jumlah *linguistic term* sebanyak 3. Berikut adalah *rule base* parameter K_p , τ_i , dan τ_d dengan 3 *linguistic term* pada bagian input dan 3 *linguistic term* pada bagian output.

Tabel 2.
Rule base Parameter K_p, τ_i, τ_d

ΔE	E	N	Z	P
N	K	K	S	S
Z	K	K	S	B
P	S	S	B	B

Tabel 3.
Data Penguatan PID

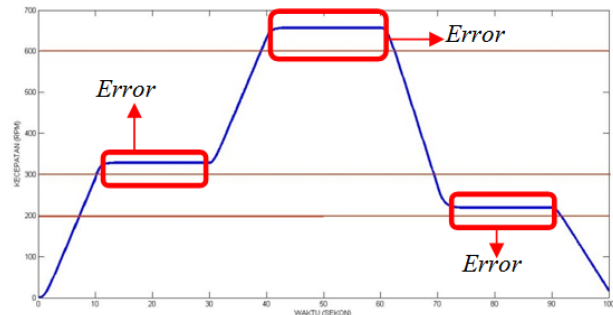
No	Kondisi Pembebanan	K_p	τ_i	τ_d
1.	Minimal	0,387	0,707	0,060
2.	Nominal	0,605	1,04	0,276
3.	Maksimal	0,720	1,314	0,328

Hasil fuzzifikasi dipakai sebagai koefisien untuk menghitung formulasi K_p , τ_i , dan τ_d .

F. Pengujian Sistem Open Loop

Pada pengujian sistem secara *open loop* berfungsi untuk mengetahui respon kecepatan *plant* mesin sentrifugal apabila diberikan *input* referensi statis dan *tracking* sesuai dengan yang dibutuhkan pada proses sentrifugal. Pada pengujian kali ini diberikan *input* referensi konstan sebesar 200 rpm dan dalam kondisi tanpa beban. Data akan direkam sebanyak 100

data dengan referensi *tracking sampling* sebesar 1 detik pada *software MX-Sheet*.



Gambar 10. Respon motor tanpa kontroler dengan model referensi

Pada pengujian *open loop* dengan *input* model referensi tanpa kontroler diperoleh hasil bahwa *output plant* tidak sesuai dengan referensi yang diinginkan karena terdapat *error* pada tiap-tiap kecepatan yang diinginkan. Pada 200 rpm *error* rata-rata 18,01 % sedangkan pada 300 rpm rata-rata 30,09 % dan pada kecepatan 500 rpm rata-rata 46,64 %. Sehingga semakin besar rpm, rata-rata *error* akan semakin besar apabila tanpa kontroler. Berdasarkan pengujian secara *open loop* terhadap *output plant* tidak sesuai dengan nilai referensi yang diinginkan sehingga perlu adanya kontroler agar *plant* bisa mendapatkan respon yang lebih baik.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Simulasi Kontroler PID Fuzzy

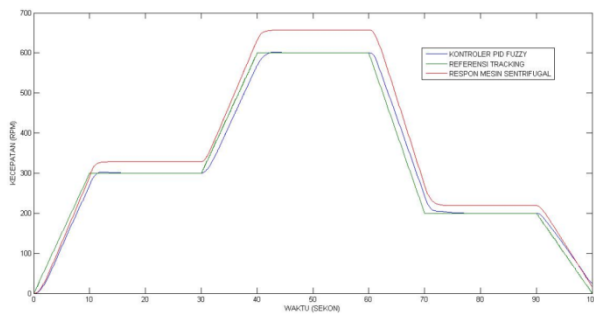
Simulasi kontroler dilakukan untuk mengetahui bahwa kontroler dapat menjalankan fungsi agar *output* dari *plant* sama dengan *output refrence* yang diinginkan. Simulasi kontroler ini dilakukan dalam bentuk domain kontinyu.

B. Simulasi dalam Bentuk Kontinyu

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini adalah pengaturan kecepatan mesin sentrifugal menggunakan kontroler PID Fuzzy. Maka dari itu perlu dilakukan simulasi dan implementasi untuk melihat hasil respon sistem agar mengikuti *tracking input* yang diinginkan.

C. Simulasi Kontrol PID Fuzzy dengan Model Referensi

Simulasi kontrol PID Fuzzy dilakukan dengan pemberian *input* berupa eror dan delta eror dari kecepatan. Dari masukan *error* dan delta *error* ini, Fuzzy akan memilih parameter gain dari PID. Sehingga setiap perubahan yang terjadi pada beban mesin sentrifugal akan terus di *tracking* oleh kontroler PID Fuzzy. Berikut merupakan hasil keluaran respon dengan kontroler PID Fuzzy dengan referensi *tracking*. Referensi diberikan dalam bentuk tegangan 0,72; 1,063; dan 2,039 VDC atau setara dengan 200, 300, dan 600 rpm.



Gambar 11. Respon Tracking Kontroler PID Fuzzy

Hasil respon pada simulasi dengan kontroler PID Fuzzy dapat mengikuti *tracking reference*.

Tabel 4. Spesifikasi Hasil Simulasi PID Fuzzy

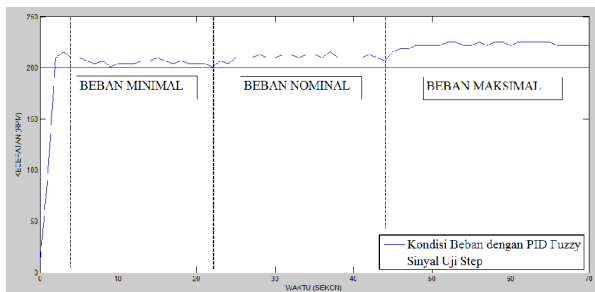
Spesifikasi	Proses (rpm)	Respon Mesin Sentrifugal	Respon Kontroler PID Fuzzy
$t_r(5\%-95\%)$	0 - 300	10,2 detik	11,5 detik
	300 -600	9 detik	12,3 detik
Prosentase e_{ss} (interval 10 detik)	600 -200	9,9 detik	15,5 detik
	300	9,5 %	0,85 %
Maksimum Overshoot	600	9,5 %	0,01 %
	200	10 %	0,76 %
	300 -600	25 %	0,92 %
	600 -200	-	-

Dari hasil analisa pada simulasi, diperoleh nilai rata-rata dari *error steady state* saat *starting*, *spinning*, dan *breaking* sebesar 0,51 %.

D. Implementasi Kontrol PID Fuzzy dengan Referensi Tracking

Implementasi kontroler dilakukan untuk mengetahui bahwa kontroler dapat menjalankan fungsi agar *output* dari *plant* sama dengan *output reference* yang diinginkan. Implementasi kontroler ini dilakukan dalam bentuk domain diskrit.

Pengujian dengan masukan sinyal statis bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh kontroler bisa mengurangi error di kondisi *steady state*. Didalam pengujian ini diberikan sinyal masukan berupa kecepatan sebesar 200 rpm.



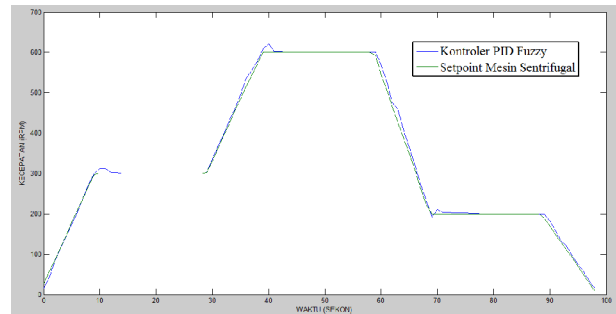
Gambar 12. Pengujian Sinyal Step dengan Kontroler PID Fuzzy

Dari pengujian sinyal *step* dengan kontroler PID Fuzzy diperoleh nilai error untuk berbagai kondisi berbeban.

Tabel 5. Spesifikasi Respon Kontroler terhadap Sinyal Uji Step

Kontroler PID Fuzzy	Prosentase e_{ss} (Interval 20 Detik)
Beban Minimal	2 %
Beban Nominal	5 %
Beban Maksimal	6 %

Pengujian dengan *setpoint* siklus mesin sentrifugal bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh kontroler bisa mengurangi error di kondisi *starting*, *spinning* dan *breaking*. Didalam pengujian ini *setpoint* berupa kecepatan sebesar 300, 600, dan 200 rpm.



Gambar 13. Implementasi Tracking Kontroler PID Fuzzy

Tabel 6. Nilai e_{ss} pada Implementasi PID Fuzzy

Kontroler PID Fuzzy	Prosentase e_{ss} (Interval 30 Detik)
<i>Starting</i>	0,6 %
<i>Spinning</i>	1 %
<i>Breaking</i>	1,5 %

Dari hasil analisa pada implementasi dengan kontroler PID Fuzzy, diperoleh nilai rata-rata dari *error steady state* saat *starting*, *spinning*, dan *breaking* sebesar 1,06 %.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi kontroler PID Fuzzy pada Tugas Akhir ini diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa pada simulasi dan implementasi dengan kontroler PID Fuzzy diperoleh nilai rata rata dari *error steady state* saat *starting*, *spinning*, dan *breaking* sebesar 0,51 % dan 1,06 %.
2. Pada simulasi dan implementasi menggunakan kontroler PID Fuzzy dapat mengikuti karakteristik kerja kurva saat *starting*, *spinning*, dan *breaking* dengan *error steady state* yang tidak jauh berbeda dengan referensi yang diberikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terselesaikan berkat teman-teman seperjuangan Olen, Bagas, Kamil, dan Aji yang mengerjakan Tugas Akhir di Laboratorium PLC AA103. Terima Kasih juga atas bimbingan Bapak Ir. Rusdhianto Effendie AK, MT. sebagai pembimbing 1 dan Bapak Ir. Josaphat Pramudijanto, M.Eng sebagai pembimbing 2 yang telah membantu dan membimbing hingga Tugas Akhir dan laporan ini dapat terselesaikan. Hasil implementasi Tugas Akhir ini dapat dilihat pada situs youtube dengan alamat URL:

<https://www.youtube.com/watch?v=0wgXspyNfVI&feature=youtu.be>

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yudistira, Adityo. "Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode Sliding Mode Control", *Tugas Akhir*, JTE-ITS, Surabaya, 2014.
- [2] Hidayah, Fahmi. "Perancangan dan Implementasi Pengaturan Kecepatan Motor Tiga Fasa Pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode Linear Quadratic Tracking", *Tugas Akhir*, JTE-ITS, Surabaya, 2013.