

## PI Controller Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa

Siti Nur Alima\*, Mila Fauziyah, Denda Dewatama  
Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang  
\*email: sitinuralima33@gmail.com

### Abstract

*Induction motors are widely used in the industrial world, home-based businesses as well as in households. Currently in the process of making tofu an induction motor is used as a motor to drive soy blending blades. At this time the use of induction motors is still manually by requiring the operator to regulate the speed of the motor. To reduce operator work, it is necessary to apply PI control as a motor speed controller so that a constant motor rotation is obtained. 1 phase induction motor can be adjusted with variable speed drive (VSD) 0.75KW 1 phase. Blending blade drive uses 0.5HP 1 phase induction motor. In the application of PI control requires some hardware namely Arduino Uno as a minimum system that gives PWM circuit input commands. And the speed sensor as a motor blending speed reader. PI tuning values obtained from the application of the Ziegler-Nichols I method with the best Kp and Ki tuning values are 1.35 and 0.02673. This research was conducted with 3 speed variables namely 1400 rpm, 1300 and 1200 rpm. From the application of Kp and Ki tuning values, the smallest error value is 4.08% at 1400 rpm with the system response time peak (tp) 5s, rise time (tr) 3s faster, delay time (td) 3s, and settling time (ts) 9s, and a maximum overshoot of 9.8%.*

*Keywords: VSD, PWM Induction Motor, Kp, Ki*

### 1. Pendahuluan

Motor induksi banyak digunakan di industri dan rumah tangga karena motor induksi tersebut mempunyai konstruksi sederhana, mudah dioperasikan relatif murah dalam perawatannya [1]. Penggunaan motor induksi jika dilihat dari suplai tegangannya, salah satunya adalah jenis motor induksi satu fasa yang beroperasi menggunakan sumber bolak-balik [2]. Motor induksi satu fasa sering digunakan sebagai penggerak pada peralatan dengan kecepatan penuh atau kecepatan yang relatif konstan. Konsumsi daya pada motor induksi dengan kecepatan konstan lebih besar dan hal tersebut dapat menyebabkan pemborosan energi listrik. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka dibutuhkan suatu cara untuk menghemat energi listrik, khususnya dalam pengoperasian motor listrik. Salah satu upaya untuk menghemat pemakaian energi listrik pada pengoperasian motor induksi adalah dengan menggunakan konverter daya berupa *inverter*.

Selain itu, penggunaan motor induksi saat ini masih banyak menggunakan cara konvensional yaitu menggunakan sistem *starting* secara langsung (*direct-on-line*) atau langsung dihubungkan pada sumber listrik. Penggunaan cara ini akan menimbulkan arus *start* yang tinggi pada motor induksi sehingga dapat juga menyebabkan pemborosan energi listrik. Hal ini juga dapat diatasi dengan menggunakan *inverter* yaitu mengatur frekuensi dan tegangan pada motor induksi, untuk mengurangi arus *start* motor induksi dalam upaya penghematan energi listrik [3].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zondra bahwa untuk mengurangi daya motor yang berlebih saat *starting* maka dibutuhkan *inverter* yaitu *variable speed drive* (VSD) selain itu juga dapat menghemat pemakaian listrik [4].

Dan dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Dewatama dkk menyatakan bahwa kecepatan motor dapat dikontrol menggunakan kendali PI dengan memanfaatkan metode Ziegler's – Nichols untuk *tuning* nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang sesuai [5].

Sedangkan dalam penelitian ini dilakukan dengan dua metode untuk mengatur kecepatan motor induksi yaitu menggunakan kendali PI dengan hasil kendali diubah kedalam bentuk frekuensi dan memanfaatkan *variable speed drive* (VSD) untuk mengatur kecepatan putaran motor berdasarkan nilai frekuensi yang didapatkan sehingga dapat menurunkan *error* ke nilai terkecil. Serta penelitian ini diterapkan untuk para pengusaha tahu industri menengah kebawah.

## 2. Kajian Pustaka

### 2.1 Motor Induksi

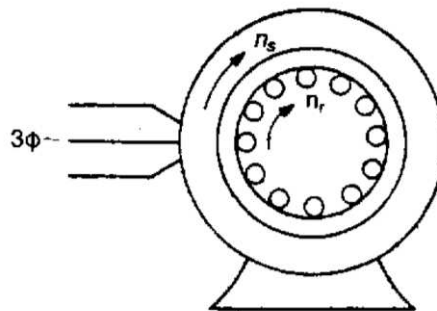
Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Motor arus bolak – balik berasal dari arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron [6]. Persamaannya ditunjukkan pada Persamaan (1) dan gambar prinsip kerja ditunjukkan pada Gambar 1.

$$n_s = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

Keterangan:  $n_s$  = Jumlah belitan

$f$  = frekuensi

$p$  = Jumlah kutub



Gambar 1. Prinsip Kerja Motor Induksi

Ada beberapa prinsip kerja motor induksi :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator maka akan timbul medan putar dengan kecepatan  $n_s = 120f/2p$ .
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.
3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl).
4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka ggl akan menghasilkan arus.
5. Adanya arus di dalam medan magnet menimbulkan gaya pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya pada rotor yang cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.

7. Tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan stator. Artinya agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan berputar rotor ( $n_r$ ).
8. Perbedaan kecepatan tersebut disebut *Slip* ( $S$ ) dinyatakan dengan :

$$S(\%) = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

9. Bila  $n_r = n_s$  tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel akan timbul jika  $n_r < n_s$  [7][8].

## 2.2 Variabel Speed Drive (VSD)

*Variabel speed drive* atau *variabel frekuensi drive* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor listrik (AC) dengan mengontrol frekuensi daya listrik yang dipasang ke motor. Variabel frekuensi drive semakin populer karena kemampuannya untuk mengontrol kecepatan motor induksi. VSD mengontrol kecepatan motor induksi dengan mengubah frekuensi dari grid untuk nilai disesuaikan pada sisi mesin sehingga memungkinkan motor listrik dengan cepat dan mudah menyesuaikan kecepatan dengan nilai yang diinginkan. Dua fungsi utama dari variabel frekuensi drive adalah untuk melakukan konversi listrik dari satu frekuensi ke yang lain, dan untuk mengontrol frekuensi keluaran. Aplikasi VSD digunakan dari mulai peralatan kecil sampai peralatan besar, yaitu pengaturan pabrik tambang, kompresor dan sistem ventilasi untuk bangunan besar [9].

## 2.3 Kontrol Proporsional – Integral (PI)

### 2.3.1 Kontroler Proporsional

Kontroler *proporsional* adalah sebuah controller yang memiliki karakteristik mempercepat *output*. Hubungan antara *output* controller  $u(t)$  dan sinyal *error*  $e(t)$  ditunjukkan dalam persamaan berikut:

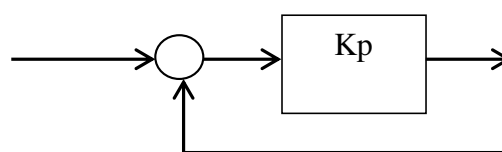
$$u(t) = K_p e(t) \quad (3)$$

atau, dalam fungsi alih

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (4)$$

dimana  $K_p$  adalah penguatan.

Diagram blok kontroler *proporsional* (P) ditunjukkan dalam Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram Blok Kontroler Proporsional (P)

Apapun wujud mekanisme yang sebenarnya dan apapun bentuk daya penggerakannya, kontroler proporsional pada dasarnya merupakan penguat dengan penguatan yang dapat diatur [10].

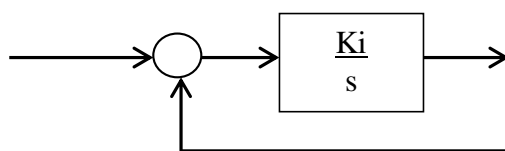
### 2.3.2 Kontroler Integral

Kontroler integral seringkali disebut kontrol reset, dimana  $K_i$  merupakan konstanta yang dapat diatur.

Fungsi alih kontroler integral adalah :

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (5)$$

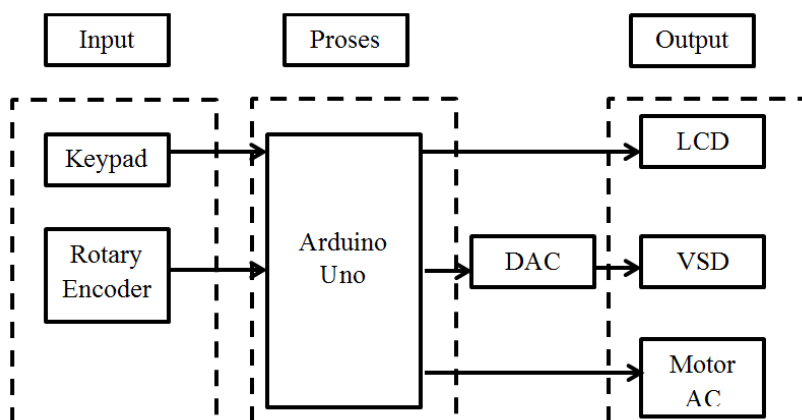
Kontroler integral memiliki karakteristik mempercepat respon untuk mencapai nilai *steady state*. Keluaran kontroler sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Keluaran kontroler ini merupakan jumlahan yang terus-menerus dari perubahan masukannya. Kalau sinyal kesalahan tidak mengalami perubahan, keluaran akan menjaga keadaan seperti sebelum terjadinya perubahan masukan [10]. Diagram blok kontroler *Integral (I)* ditunjukkan dalam Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Kontrol Integral

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 4. Prinsip kerja dari motor induksi satu fasa pada sistem *blending* kedelai adalah menggunakan sumber tegangan jala – jala PLN 220V untuk memberikan *supply* tegangan ke rangkaian dan komponen seperti motor AC, dan VSD. *Keypad* digunakan untuk memasukkan nilai *setpoint* yang diinginkan. LCD digunakan untuk

menampilkan nilai pembacaan sensor kecepatan dan sensor arus selama sistem berjalan. Saat sistem dihidupkan motor induksi akan aktif. Sensor kecepatan yang terpasang pada *blending motor* mendeteksi kecepatan motor induksi. Setelah kecepatan motor terdeteksi kemudian data dikirimkan kekontroler PI untuk diolah. Di dalam kontroler PI data yang telah diterima akan dibandingkan dengan nilai setpoint. Hasil dari perbandingan dan setpoint yang didapatkan, dikirimkan ke rangkaian DAC sehingga keluaran berupa tegangan yang digunakan sebagai acuan VSD untuk memutar motor agar sesuai dengan setpoint. Ketika putaran motor yang didapatkan tidak sesuai dengan setpoint maka *controller* akan menstabilkan putaran motor AC.

### 3.2 Pengujian Sensor Kecepatan

Proses kalibrasi sensor kecepatan dilakukan pada sistem tanpa beban dengan kecepatan 500 rpm – 2000 rpm. Dari kecepatan motor yang dijalankan tanpa beban tersebut didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

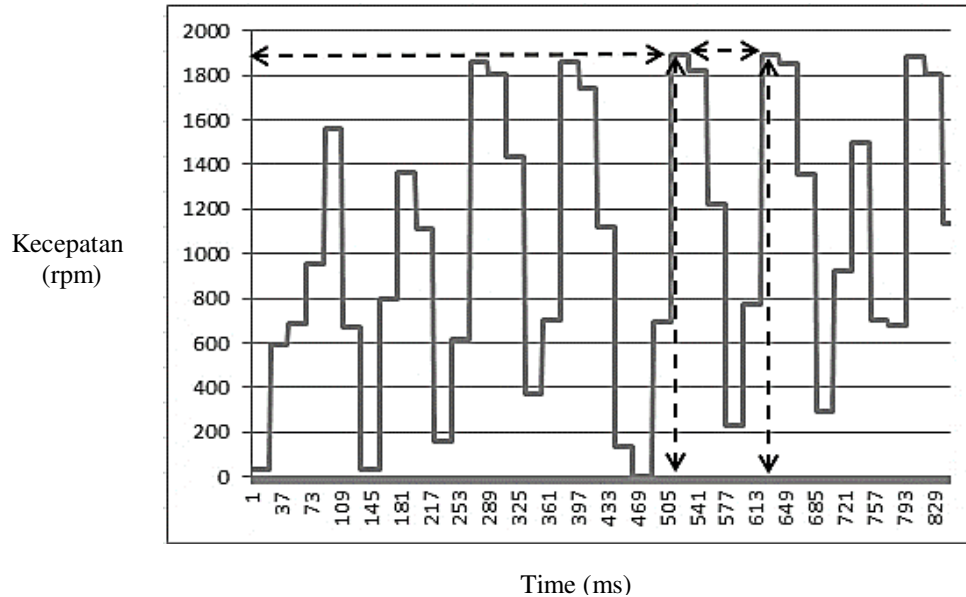
Tabel 1. Hasil Uji Sensor Kecepatan

Sensor Kecepatan (RPM)	Tachometer (RPM)	Error (%)
661,6	657,1	0,7
956,3	956,1	0,02
1100	1195	7,9
1425	1440	1,04
1601	1645	2,67
1825	1850	1,3
2052	2092	1,9
<b>Error rata - rata</b>		<b>2,21</b>

Berdasarkan Tabel 1 hasil uji sensor kecepatan didapatkan nilai *error* minimal yaitu 0.02% dan *error* maksimal yaitu 7.9 %. Serta error rata – rata yaitu 2.21%.

### 3.3 Perancangan Software Keseluruhan

Untuk Perancangan kontrol PI menggunakan metode osilasi *Ziegler-Nichols* untuk menentukan nilai Kp dan Ki sesuai dengan cara yang telah ada, dimana kedua konstanta ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan kecepatan putar motor induksi 1 fasa untuk proses *blending* kedelai.



Gambar 5. Grafik Osilasi

Gambar 5 diatas adalah hasil grafik dengan pemberian penguat proporsional ( $K_p$ ) = 3 serta penguat integral ( $K_i$ ) bernilai 0 serta *setpoint* kecepatan diberi 1000 rpm. Dimana konstanta  $K_p$  adalah nantinya berubah menjadi *ultimate gain* ( $K_u$ ) apabila telah ditemukan respon *system* berhasil. Gambar grafik diatas adalah hasil respon osilasi motor induksi pada proses *blending* kedelai tanpa beban. Dari grafik tersebut dapat ditemukan osilasi yang sama yaitu pada titik ke-511 dan ke-612, maka *ultimate periode* ( $T_u$ ) dapat diperoleh dengan cara :

$$\begin{aligned} T_u &= t_2 - t_1 \\ &= 612 - 511 \\ \mathbf{T_u} &= \mathbf{101} \end{aligned}$$

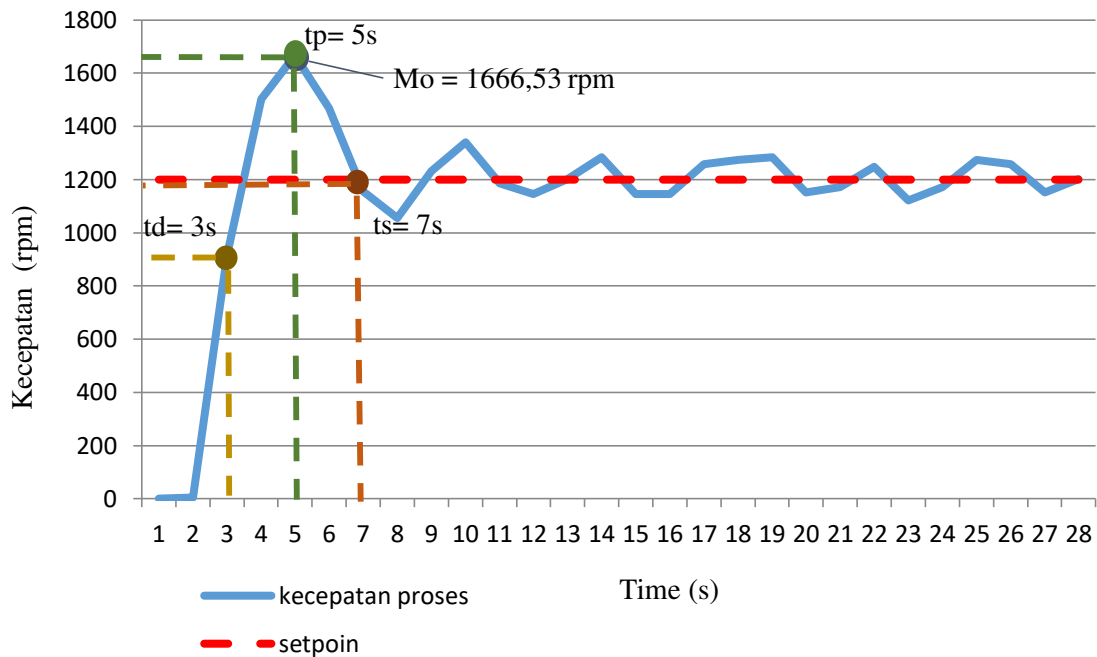
Dengan diperolehnya nilai  $K_u$  dan  $T_u$ , nilai  $K_p$  dan penguat integral ( $K_i$ ) dapat diperoleh melalui perhitungan *setting* parameter kontrol dengan Metode Osilasi didapatkan data:

$$\begin{aligned} K_p &= 0,45 \times K_u \\ &= 0,45 \times 3 \\ \mathbf{K_p} &= \mathbf{1.35} \\ T_i &= P_u / 1.2 \\ &= 101 / 2 \\ \mathbf{T_i} &= \mathbf{50.5} \\ K_i &= K_p / T_i \\ &= 1.35 / 50.5 \\ \mathbf{K_i} &= \mathbf{0.02673} \end{aligned}$$

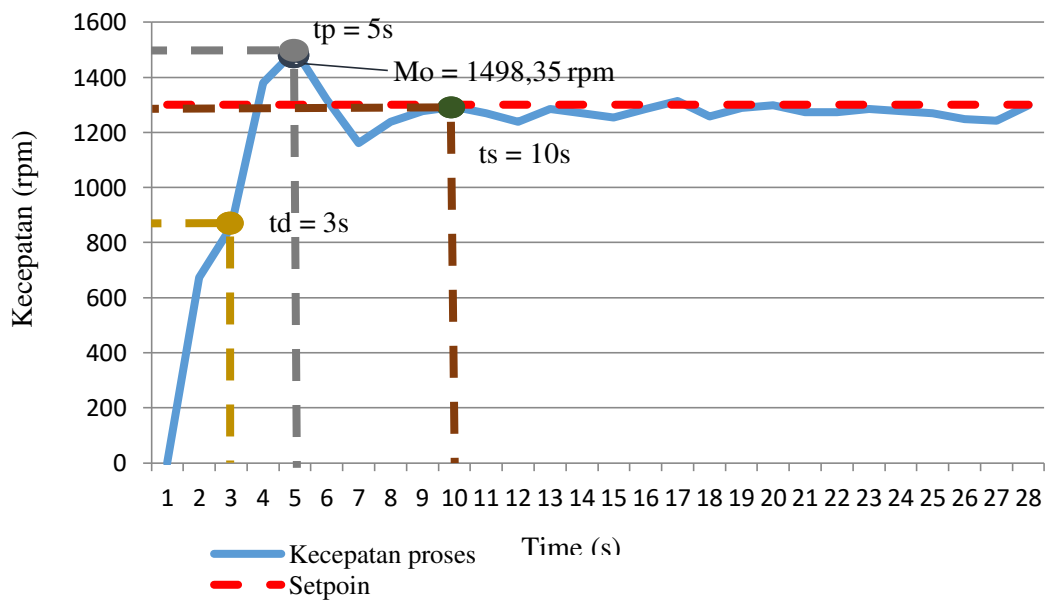
Dengan diperolehnya nilai  $K_p$  dan  $K_i$ , kedua nilai tersebut dimasukkan ke dalam program kembali dan dilihat melalui grafik apakah respon yang dihasilkan nantinya sesuai dan dapat menjadi sistem menjadi stabil.

### 3.4 Pengujian Sistem

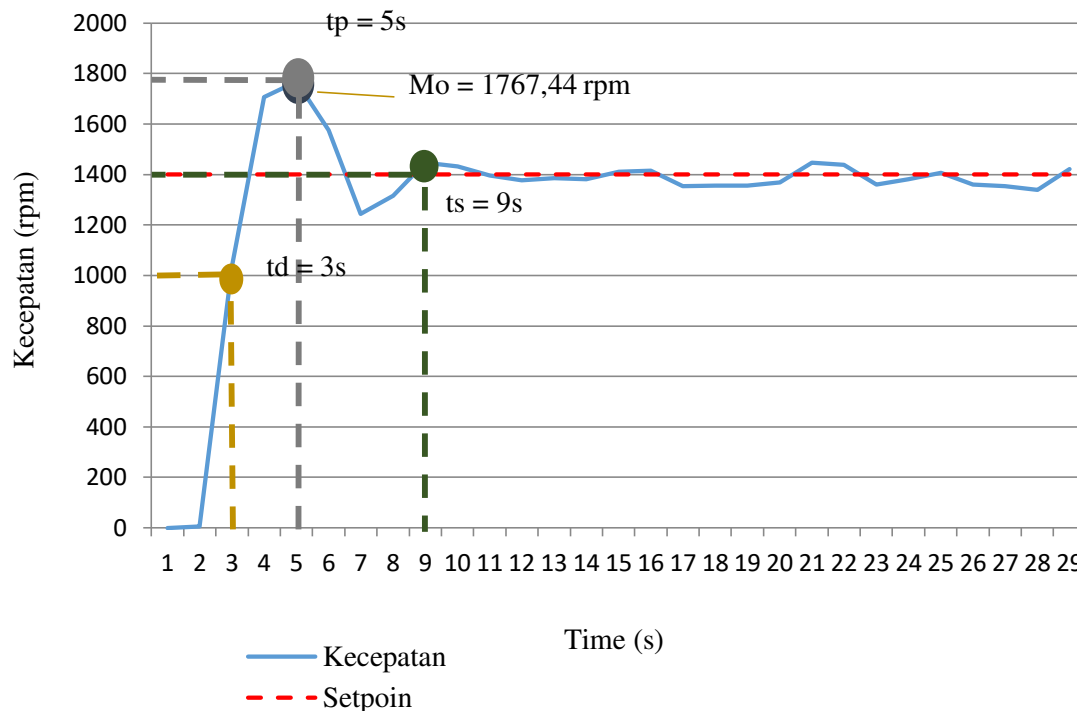
Setelah dilakukan pengujian sistem pada 3 kecepatan yaitu 1200 rpm, 1300 rpm, dan 1400 rpm. maka didapatkan hasil terbaik pada kecepatan 1400 rpm yang ditampilkan pada grafik Gambar 6 – 8 sebagai berikut :



Gambar 6. Grafik Respon Sistem pada Kecepatan 1200 rpm



Gambar 7. Grafik Respon Sistem pada Kecepatan 1300 rpm



Gambar 8. Grafik Respon Sistem pada Kecepatan 1400 rpm

Tabel 2. Hasil Respon Sistem pada Kecepatan 11200 rpm, 1300 rpm, dan 1400 rpm.

No	Kecepatan Motor (RPM)	Delay time (td)	Rise time (tr)	Peak time (tp)	Settling time (ts)	Maximum Overshoot (Mo)	Error Steady State (ESS)
1	1200	3s	3.5s	5s	7s	38.88%	Max: 11.61%
							Min: -12.59%
2	1300	3s	3.5s	5s	10s	15.26%	Max: 2.31%
							Min: -7,5%
3	1400	3s	3s	5s	9s	9.86%	Max: 4.08%
							Min: -5.43%

Dari Tabel 2 di atas diketahui bahwa ketiga kecepatan memiliki waktu tunda sebesar 3s. Akan tetapi untuk waktu naik terbaik pada kecepatan 1400 rpm dengan 0,5s lebih cepat yaitu 3s. Dalam mencapai titik puncak ketiga kecepatan membutuhkan waktu 5s dan nilai *maximum overshoot* terkecil yaitu 9.81% pada kecepatan 1400rpm. Sedangkan untuk mencapai titik konstan setpoint 1300 rpm membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan kecepatan 1200 rpm dan 1400 rpm, namun 1200 rpm lebih cepat 2s dalam mencapai nilai konstan setpoint dibandingkan dengan kecepatan 1400 rpm. Apabila dilihat dari grafik respon yang dihasilkan kecepatan 1400 rpm memiliki grafik dengan osilasi yang sangat kecil atau *error* terkecil yaitu *error max* 4.08% dan *error min* -5.43%. sehingga kecepatan putaran motor konstan sesuai dengan setpoint yang dimasukkan.



#### 4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa pengaturan kecepatan motor induksi 1 fasa pada *blending* kedelai telah berhasil dibuat dan bekerja dengan baik, serta dapat dikontrol kecepatannya. Berikut ini adalah kesimpulan lain yang didapatkan :

1. Sensor kecepatan yang digunakan pada sistem pengaturan kecepatan motor *blending* pada proses pembuatan tahu yaitu sensor *rotary encoder* tipe FC – 03. Hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan *error minimum* sensor yaitu 0.02% dan *error maximum* sensor yaitu 7.9% serta nilai *error* rata – rata yaitu 2.21%.
2. Sistem ini menggunakan kontrol PI untuk mengatur kecepatan motor. Tuning nilai PI didapatkan dengan metode *Ziegrel Nichols* dengan kecepatan di atur sebesar 1000 rpm. Dengan kecepatan sebesar 1000 rpm tersebut diperoleh hasil nilai  $K_p = 1.35$  dan  $K_i = 0.02673$ .
3. Setelah dilakukan tuning PI dengan nilai  $K_p = 1.35$  dan  $K_i = 0.02673$ . Diperoleh respon terbaik pada kecepatan motor sebesar 1400 rpm. Metode PI yang telah dilakukan mampu mempercepat sistem menuju *setpoint* yang ditentukan. Diperoleh *delay time* ( $T_d$ ) sebesar 3s, *rise time* ( $t_r$ ) 3s lebih cepat, dengan nilai *Maximum Overshoot* ( $M_o$ ) yang ditimbulkan pada *starting* awal sebesar 9.8% pada waktu puncak atau *peak time* ( $T_p$ ) 5s. Kemudian, sistem mulai mencapai titik *steady state* yaitu *settling time* ( $T_s$ ) pada waktu 9s lebih cepat dengan nilai *error maximum* 4.08% dan *error minimum* yaitu -5.43%.

#### Daftar Pustaka

- [1] Tanjung, A. (2018). Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD). *SainETIn*, 2(2), 52-59.
- [2] Putri, R. I., Fauziyah, M., & Setiawan, A. (2010). Penerapan Kontroler Neural Fuzzy Untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Sentrifugal. *INKOM Journal*, 3(1-2), 53-65.
- [3] Kale, A., Kamdi, N. R., Kale, P., & Yeotikar, A. A. (2017). A review paper on variable frequency drive. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 4(1), 1281-1284.
- [4] Zondra, E. (2017). Analisis Penggunaan Energi Listrik Pada Motor Induksi Satu Fasa Dengan Menggunakan Inverter. *Sainetin*, 1(2).
- [5] Fauziyah, M., Dewatama, D., & Atisobhita, M. (2017, October). Implementasi Kontrol PI Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Elektro Terapan* (Vol. 1, No. 01, pp. 217-222).
- [6] Nurfaizah, M., Istardi, D., & Toar, H. (2015). Rancang Bangun Modul Praktikum Motor AC Dengan Aplikasi Pengaturan Posisi Dengan Menggunakan PID. *Jurnal Integrasi*, 7(1), 50-56.
- [7] Zuhail. (2000). *Dasar Teknik dan Tenaga Listrik*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [8] Wijaya, Mochtar. (2001). *Dasar – Dasar Mesin Listrik*. Djambatan. Jakarta.
- [9] Huda, D. N. (2012). Pengujian Unjuk Kerja Variabel Speed Drive Vf-S9 Dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa 1 Hp. *Politeknik Negeri Bandung. Hlm*, 2.
- [10] Ogata, Katsuiko. (1997). *Teknik Kontrol Automatik*.