

# Analisis Performansi Pengendali pada Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode *Harriot* Dengan Pengendali *Hybrid SMC* dan *PID*

Ahmad Faizal, Harman

Jurusan Teknik Elektro UIN Suska Riau

Jl. HR Soebrantas No. 155 Panam Pekanbaru

e-mail: ahmad.faizal@uin-suska.ac.id, harman@students.uin-suska.ac.id

## Abstrak

*Motor Induksi adalah motor yang banyak ditemui di industri karena memiliki perawatan yang relatif murah dan kekokohan pada mekaniknya namun pada motor Induksi memiliki kekurangan yaitu pengaturan kecepatan yang susah maka dibutuhkan suatu pengendali yang kokoh, salah satunya adalah pengendali SMC. Pengendali SMC adalah pengendali yang terkenal dengan kekokohnya dalam mengatasi gangguan, namun pengendali SMC memiliki kelemahan diantaranya chattering. Pada aplikasinya nilai chattering pada pengendali SMC mampu memicu terjadinya error steady state dan overshoot, salah satu pengendali yang mampu mengatasi error steady state dan overshoot adalah pengendali PID. Berdasarkan hasil simulasi dengan pengendali hybrid SMC dan PID pengaturan kecepatan motor Induksi 3 Fasa terbukti pengendali PID mampu mengatasi kelemahan SMC dengan nilai overshoot pada beban minimal 0%, beban nominal 0,01% dan beban maksimal 0,01% tanpa error steady state, serta memiliki waktu transien lebih cepat dan kokoh dengan nilai  $\tau$  pada beban minimal 0,5727s, nominal 0,5725s dan maksimal 0,5735s*

**Kata kunci** : Motor Induksi 3 Fasa, kecepatan putar (RPM), metode *Harriot*, SMC, *hybrid SMC* dan *PID*.

## Abstract

*Induction motor is motors that were encountered in industry because it has low maintenance and robustness relatively of the mechanics But in induction motor has the disadvantage is the speed setting difficult, it takes a solid controllers, which one is the controller SMC. SMC controller is th controller famous for solidity in overcoming the disorder, but the controller SMC has drawbacks such chattering. In its application value chattering controller SMC able to trigger a error steady state and overshoot, one of the controllers are able to overcome the steady-state error and the overshoot is a PID controller. Based on the simulation results with the hybrid controller SMC and PID motor speed setting 3-Phase Induction proven PID controller is able to overcome the weakness of SMC with overshoot at minimum load value 0%, the nominal load of 0.01% and maximum load 0.01% without error steady state, as well as has a faster transient and sturdy with a minimum value of  $\tau$  at load 0,5727s, and maximum 0,5735s. nominal 0,5725s.*

**Keywords**: 3-Phase Induction Motor, rotational speed (RPM), the method *Harriot*, SMC, *hybrid SMC* and *PID*.

## 1. Pendahuluan

Pada zaman sekarang banyak teknologi-teknologi di bidang Industri yang terus dikembangkan agar memiliki performansi yang baik, karena performansi yang baik dibutuhkan manusia agar mendapatkan hasil yang baik dalam hal efisiensi kerja alat baik dalam menghasilkan produk ataupun dalam hal lain sesuai dengan keperluan manusia di bidang industri. Salah satu teknologi yang berperan penting di dunia industri adalah motor Induksi[1].

Motor induksi adalah motor yang paling banyak ditemukan pada industri bila dibandingkan dengan motor lain. Ini disebabkan dari keunggulan pada motor induksi. Diantara keunggulannya adalah bagian konstruksinya yang sederhana, kekokohan mekaniknya, dan juga dapat langsung dihubungkan ke dalam sumber daya AC[2].

Namun disamping keunggulan motor induksi memiliki kelemahan, diantara kelemahannya adalah sulitnya mengatur kecepatan pada motor ini karena karakteristik motor induksi itu sendiri tidak linier, akibatnya tidak mampu mempertahankan kecepatan saat mengalami penambahan beban. Agar didapatkan unjuk kerja yang baik, maka dari itu dibutuhkan pengendali yang mampu membuat performansi motor induksi menjadi lebih kokoh[1].

Salah satu pengendali yang mampu mengatasi ketidakpastian parameter adalah *Sliding Mode Control* (SMC). Pengendali ini memiliki keunggulan yaitu sifatnya yang kokoh dan mampu bekerja pada sistem non linear yaitu sistem yang memiliki ketidakpastian model ataupun parameter[3]

Pada pengendali SMC memiliki kekurangan yaitu terletak pada *chattering* yang tidak bisa dihilangkan. *Chattering* adalah fenomena yang merugikan yang terdapat pada respon sistem. Dengan adanya fenomena osilasi (*chattering*) pada motor induksi mengakibatkan operasi sistem memiliki akurasi yang rendah, Kerusakan pada sistem, sistem tidak stabil, pemborosan daya pada *power* dan juga berakibat *error steady state* pada saat penambahan beban[1].

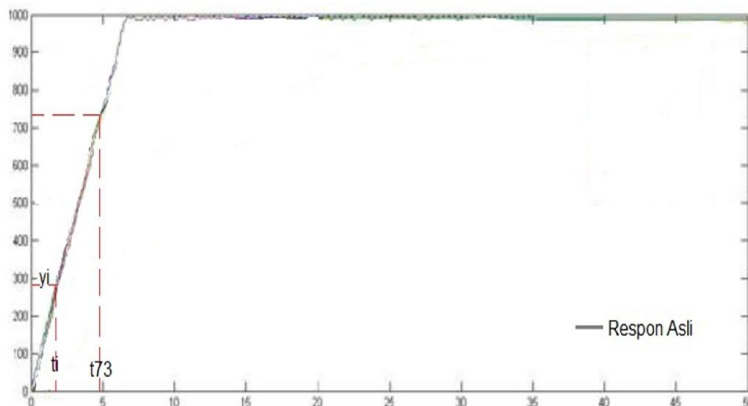
Oleh karena itu dibutuhkan analisis dan pengendali yang cocok untuk membuat performansi Motor Induksi Tiga Fasa menjadi lebih baik. Dengan menambahkan pengendali PID yang memiliki keunggulan dalam memperkecil *overshoot* dan *error steady state* pada beban. Penulis melakukan penelitian dengan tujuan untuk memperbaiki kekurangan pada pengendali SMC dalam mengendalikan kecepatan motor Induksi Tiga Fasa. Dengan menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan PID diharapkan mampu mempercepat dan memperkuat respon waktu serta mampu memperkecil *overshoot* dan *error steady state* yang minimum.

## 2. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang penulis lakukan dalam meningkatkan performansi pengendali pada kecepatan motor induksi dengan menggunakan pengendali *hybrid* SMC dan PID yang dilakukan menggunakan aplikasi Matlab R2013a.

### 2.1 Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa

Pada tahap ini motor Induksi diuji secara *open loop* dan kemudian hasil dari respon *plant* yang terbaca oleh *rotary encoder* ditampilkan pada komputer melalui proses *akuisisi* data dengan PLC *Mitsubishi*[1]. Setelah itu salah satu sampel diterapkan pada model *Harriot* berdasarkan *paper* penelitian internasional yang ditulis oleh Ing Pavel Jakoubek[4]. Adapun hasil identifikasi sebagai berikut:



Gambar 2.1 Step respon motor Induksi Tiga Fasa pada saat  $t_i$  dan  $t_{73}$ [1]

Pada Gambar 2.1 diketahui sinyal masukan  $X_{ss} = 1000$  rpm dan respon keluaran  $Y_{ss} = 999,366548$ , Sehingga didapatkan nilai  $K = Y_{ss}/X_{ss} = 0,991366548$ .

Dicari nilai  $\tau_{dH}, \tau_{H1} + \tau_{H2}$  pada persamaan:

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{t_{73}}{1.3} \dots\dots\dots (1)$$

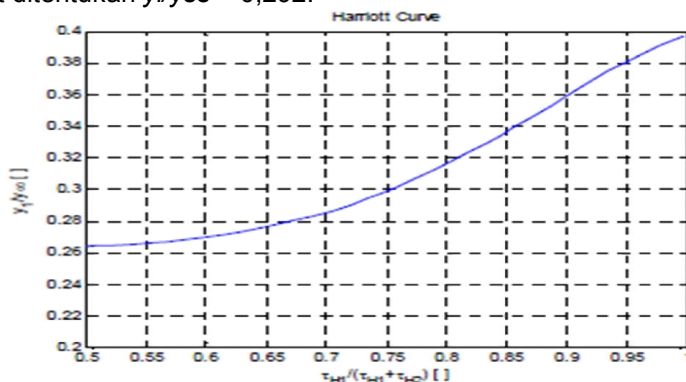
Berdasarkan Gambar 2.1 didapatkan nilai  $t_{73}$ . Dengan metode *trial and error* yaitu 4,8136998s

$$\tau_{H1} + \tau_{H2} = \frac{4,8136998 \text{ s}}{1.3} = 3,702 \dots\dots\dots (2)$$

Disubstitusi kedalam persamaan dan didapatkan:

$$t_i = \frac{3,702846s}{2} = 1,851423 s \quad (4)$$

Sehingga didapatkan nilai  $y_i$  dari  $t_i$  pada Gambar 2.2 menggunakan metode *trial and error* yaitu  $y_i = 290$  dan dapat ditentukan  $y_i/y_{ss} = 0,292$ .



Gambar 2.2. Kurva Harriot[1].

Selanjutnya dari Kurva Harriot didapatkan nilai dari persamaan  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1}+\tau_{H2}}$  yaitu 0,7199999 selanjutnya disubstitusikan nilai  $\frac{\tau_{H1}}{\tau_{H1}+\tau_{H2}}$  sehingga didapatkan nilai  $\tau_{H1}$  dan  $\tau_{H2}$  dan fungsi alih menjadi:

$$G_H(S) = \frac{0.991366548}{2.76415201s^2+3.702846s+1} \quad (5)$$

Pada model *Harriot* ini akan diterapkan pada beban minimal, nominal dan maksimal dengan pemberian beban dilakukan dengan ketentuan: Beban minimal 0 Volt nominal 200 Volt dan maksimal 200 Volt sehingga didapatkan fungsi penghantar dari masing-masing beban menggunakan metode *Harriot* yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Model Plant dengan beban menggunakan metode *Harriot*[4].

Beban	Persamaan Model Plant	ISE
Minimal	$\frac{0.991367}{(2.764152s^2 + 3.702846s + 1)}$	2,253
Nominal	$\frac{0.994656}{(3.2205175s^2 + 3.702846s + 1)}$	2,314
Maksimal	$\frac{0.974611}{(3.638083s^2 + 3.864538s + 1)}$	2,431

Berdasarkan Tabel 2.1 untuk mencari fungsi alih pada beban, dilakukan dengan metode *Harriot* sama halnya dengan mencari beban tanpa beban[1]. Untuk perancangan pengendali dipilih beban penghantar yang paling mendekati perilaku *plant* dengan melihat nilai *Integral Square Error* (ISE) terkecil[5].

## 2.2 Desain pengendali SMC[6]

Dari Tabel 2.1 menunjukkan beban minimal memiliki nilai ISE terkecil maka dipilih beban minimal sebagai fungsi penghantar untuk perancangan pengendali SMC. Fungsi transfer pada beban minimal akan dimisalkan menjadi variabel tetap agar lebih mudah dalam mendesain pengendali sehingga fungsi penghantar plant ditentukan dengan persamaan berikut:

$$G(s) \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{as^2 + bs + 1} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

$$k=0.991367$$

$$a=2.644152$$

$$b=3.702846$$

$$c=1$$

Dari *transfer function* dapat dipresentasikan kedalam bentuk persamaan diferensial, dengan asumsi nilai awal adalah 0.

$$a\ddot{y} + b\dot{y} + cy = Ku \rightarrow a\ddot{y} = -b\dot{y} - cy + Ku$$

Didefinisikan:

$$x_1 = y \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{y} = x_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x_2 = \dot{y} \rightarrow \dot{x}_2 = \ddot{y} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Dan didapatkan:

$$\ddot{y} = -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}u \quad \dots\dots\dots (9)$$

Lalu diambil sinyal *error* sebagai variabel state:

$$x_1 = e \rightarrow \dot{x}_1 = \dot{e} = x_2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$x_2 = \dot{x}_1 = \dot{e} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Persamaan pada sinyal *error* dinyatakan:

$$e = r - y \quad \dots\dots\dots (12)$$

Dan didapatkan

$$x_1 = e = r - y \rightarrow y = r - x_1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

Karena sistem bersifat regulator maka didapat:

$$\dot{x}_1 = x_2 = r - \dot{y} \rightarrow \dot{y} = x_2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\dot{x}_2 = \ddot{y} = r - \ddot{y} \rightarrow \ddot{y} = x_2$$

Substitusikan persamaan (13) dan (14) pada persamaan (9), sehingga didapatkan:

$$\dot{x}_2 = -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}(r - x_1) + \frac{k}{a}u \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}u \quad \dots\dots\dots (16)$$

Sehingga didapatkan persamaan *state-space*:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{c}{a} & -\frac{b}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{k}{a} \end{bmatrix} u \quad \dots\dots\dots (17)$$

Didefinisikan suatu permukaan lancar:

$$s_z = 0$$

$$S(\dot{x}_1 + \dot{x}_2) = 0$$

Maka dapat dicari sinyal kendali *ekivalen* dengan asumsi  $U_n = 0$  :

$$x_2 + \left( -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}U \right) = 0$$

$$-\frac{c}{a}x_1 + \left( 1 - \frac{b}{a} \right) x_2 - \frac{k}{a}U_{eq} = 0$$

$$U_{eq} = \frac{-cx_1 + (a-b)x_2}{k} \quad \dots\dots\dots (18)$$

Setelah ditemukan sinyal kendali *ekivalen* maka dapat dicari sinyal kendali natural:

$$\dot{s}_z = x_2 + \left( -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}U \right)$$

$$\dot{s}_z = x_2 + \left( -\frac{b}{a}x_2 - \frac{c}{a}x_1 + \frac{k}{a}(U_{eq} + U_n) \right)$$

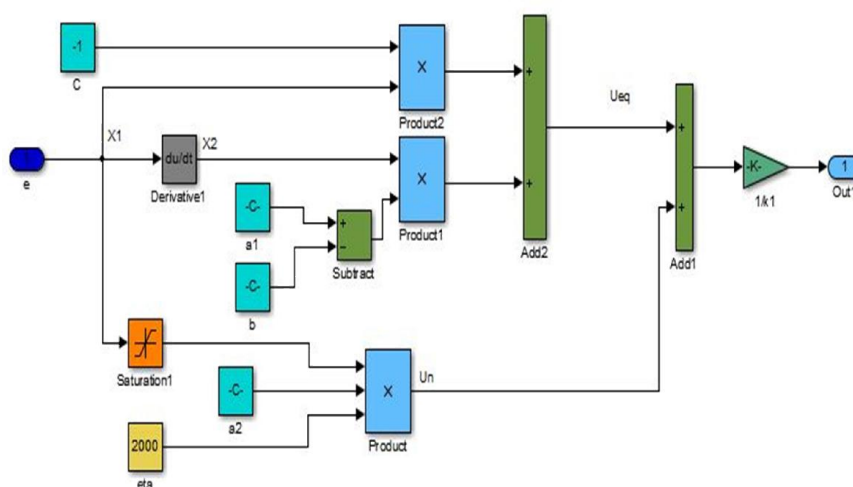
$$\dot{\sigma}_s = -\frac{k}{a}U_n \dots\dots\dots (19)$$

Berdasarkan pada syarat kestabilan *lyapunov* pada persamaan 19 maka dipilih :

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_s &= -\frac{k}{a}U_n \\ -\eta \cdot \text{sign}(\sigma) &= -\frac{k}{a}U_n \\ U_n &= \frac{a}{k} \eta \cdot \text{sat}(\sigma) \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

Dimana  $\eta > 0$  ( Kostanta positif ).

Dengan demikian demikian persamaan 18 dan 20 dirubah menjadi blok *simulink* sebagai berikut:



Gambar 2.3. Blok pengendali SMC.

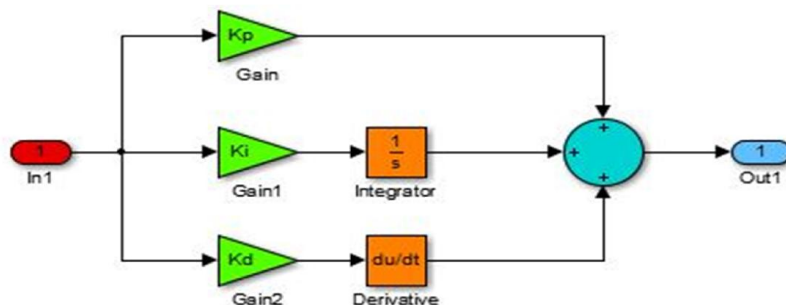
Pada Gambar 2.3 Merupakan hasil desain pemodelan pada kendali SMC menggunakan *Simulink Matlab R2013a*.

### 2.3 Desain pengendali PID[7]

Setelah didesain pengendali SMC selanjutnya didesain pengendali PID yang nantinya akan digabungkan. Berdasarkan bentuk umum pengendali PID pada persamaan berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \dots\dots\dots (21)$$

maka diagram blok pada pengendali PID ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4. Blok pengendali PID.

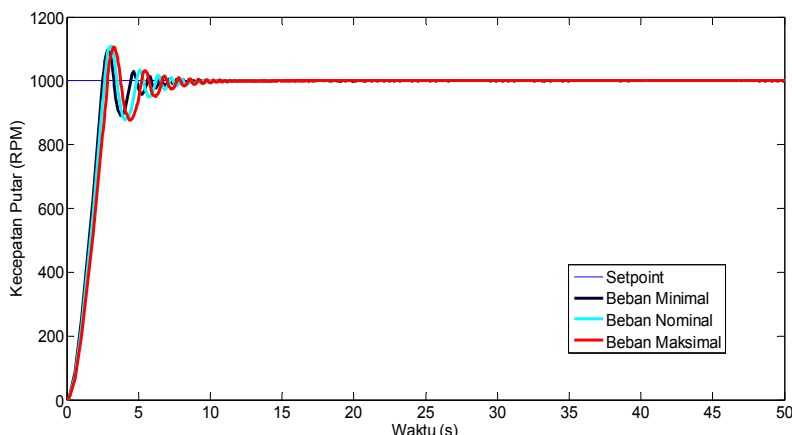
Pada Gambar 2.4 Merupakan bentuk umum pemodelan pada kendali PID yaitu pada persamaan 21 yang dirubah menjadi blok-blok menggunakan *Simulink Matlab* R2013a. Pengendali PID akan digabungkan dengan pengendali SMC untuk mengatur kecepatan motor Induksi Tiga Fasa.

### 3. Hasil dan Analisa

Hasil dan analisa dilakukan berdasarkan respon waktu[8]

#### 3.1 Performansi Pengendadali SMC pada Beban Minimal Nominal Dan Maksimal

Setelah hasil simulasi dengan menggunakan pengendali SMC didapatkan dari masing-masing beban berupa kecepatan putar. Untuk mengetahui performansi pengendali pada saat penambahan beban, dilakukan perbandingan dari pengendali dalam mengatasi perubahan beban yaitu beban minimal, nominal dan maksimal berdasarkan analisa respon waktu[8]. Adapun hasil simulasi pada masing-masing beban ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:



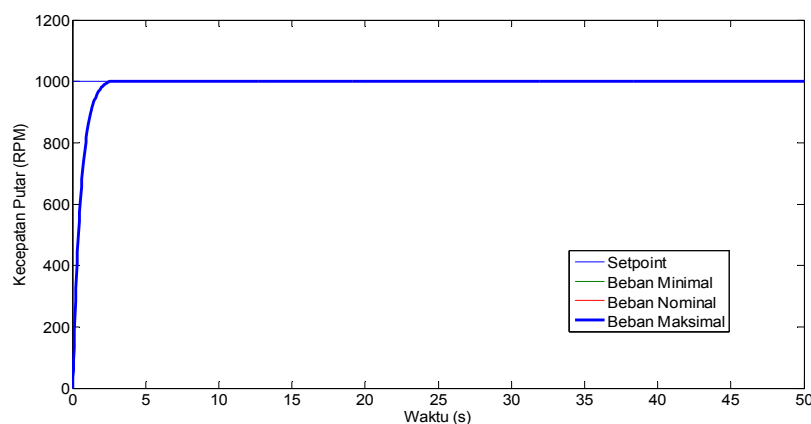
Gambar 3.1 Hasil simulasi pada beban dengan pengendali *sliding mode* (SMC)

Berdasarkan Gambar 3.1 menunjukkan bahwa ketika terjadi penambahan beban akan berdampak pada konstanta waktu ( $\tau$ ) yang semakin membesar yaitu pada beban minimal 1,8375 detik, nominal 1,9551 detik dan maksimal 2,1551 detik. Hal ini menunjukkan semakin besar beban yang diberikan maka semakin lama waktu transien yang dibutuhkan. Dan juga terjadi *overshoot* yang membesar yaitu dengan persentase maksimal *overshoot* pada beban minimal 9,69%, beban nominal 10,76% dan beban maksimal 10,56% serta *error steady state* yang berubah pada saat penambahan beban.

#### 3.2 Performansi Pengendadali *hybrid* SMC dan PID Ketika Diberi Gangguan Berupa Beban Minimal Nominal Dan Maksimal

Dari hasil simulasi dari masing-masing beban dengan analisa berupa respon waktu dengan pengendali *hybrid* SMC dan PID didapatkan selanjutnya dilakukan perbandingan untuk melihat performansi dari pengendali dalam mengatasi perubahan beban yaitu ketika diberi beban minimal, nominal, dan maksimal atau pengereman 0 Volt, 100 Volt dan 200 Volt. Adapun hasil simulasi

dengan beban minimal nominal dan maksimal dengan pengendali *hybrid* SMC dan PID ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut:

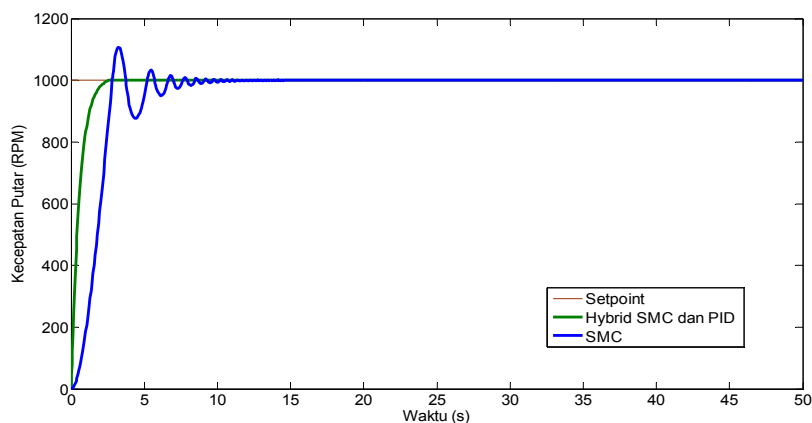


Gambar 3.2 Hasil simulasi pada beban dengan pengendali *hybrid* SMC dan PID.

Pada Gambar 3.2 terlihat analisa respon sistem pada beban minimal, nominal dan maksimal dengan pengendali *hybrid* SMC dan PID tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada saat penambahan beban dengan nilai  $\tau$  yang kokoh yaitu pada beban minimal 0,5727 detik, beban nominal 0,5725 detik, dan beban maksimal 0,5735 detik dan nilai *overshoot* pada beban nominal dan maksimal masih terjadi *overshoot* namun tidak signifikan karena nilai *overshoot* sangat kecil dengan persentase *overshoot* maksimal 0,01%, serta tidak memiliki nilai *error steady state* pada saat penambahan beban minimal, nominal dan maksimal.

### 3.3 Perbandingan Respon Pengendali SMC dan pengendali *hybrid* SMC dan PID

Adapun hasil perbandingan pengendali SMC dan pengendali *hybrid* SMC dan PID sebagai berikut:



Gambar 3.3 Perbandingan respon pengendali SMC dan pengendali *hybrid* SMC dan PID.

Berdasarkan Gambar 3.3 terlihat pengendali *hybrid* SMC dan PID memiliki konstanta waktu ( $\tau$ ) yang lebih kecil dibanding SMC. Ini membuktikan pengendali *hybrid* SMC dan PID memiliki waktu transien lebih cepat daripada SMC. Dan mampu meredam *overshoot* sampai dengan 0% serta menghilangkan *error steady state* pada saat penggunaan pengendali *hybrid* SMC dan PID.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisa pada hasil simulasi didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada hasil simulasi menunjukkan pengendali *hybrid* SMC dan PID mampu memperbaiki hasil respon pada saat penggunaan pengendali SMC, dibuktikan dengan nilai *overshoot* yang kecil dan tidak memiliki *error steady state* pada saat simulasi, serta memiliki respon waktu yang kokoh pada saat penambahan beban minimal, nominal dan maksimal.
2. Berdasarkan respon waktu, menunjukkan pengendali *hybrid* SMC dan PID memiliki waktu transien lebih cepat dan kokoh dengan nilai  $\tau$  pada beban minimal 0,5727s, beban nominal 0,5725s dan beban maksimal 0,5735s.
3. Pengendali *hybrid* SMC dan PID mampu meredam *overshoot* dengan persentase *overshoot* maksimal pada beban minimal 0 % beban nominal 0,01 % dan beban maksimal 0,01 % serta nilai *error steady state* yang minimum pada setiap beban yaitu pada beban minimal  $e_{ss} = 0$ , nominal  $e_{ss} = 0$  dan maksimal  $e_{ss} = 0$ .
4. Secara keseluruhan pengendali *hybrid* SMC dan PID memiliki performansi yang cukup baik dalam mengatasi gangguan berupa beban minimal, nominal dan maksimal.

## Daftar Pustaka

- [1] M.R. Utoro, J. Pramudijanto, *Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa*, Vol.3, hal.86-89.2014.
- [2] Husnawan, *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Logika Fuzzy*, Teknik Elektro, Universitas Indonesia, 2007.
- [3] R. Nofendra, "Perancangan Pengendali Modus Luncur untuk Motor Induksi", Artikel Penelitian Dosen Muda, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas Padang, 2009.
- [4] P. Jakaubek, "Experimental Identification of Stable Nonoscillatory Systems from Step-Responses by Selected Method", Conference Studentske Turci Cinnosti, 2009.
- [5] T. Kealy, A. Dwyer, *Analytical ISE Calculation And Optimum Control System Design*, Irish Signal and System Conference, University of Limerick, Ireland, 2003
- [6] J. -J. E. Slotine and W. Li, *Applied Nonlinear Control*, United States of America: Prentice Hall, 1991.
- [7] M. Ali, "Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software Matlab", Jurnal Edukasi, Vol, hlm.1-8, 2004.
- [8] K. Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi kedua. Jakarta: Erlangga, 1996.