

Desain Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Pada Cane-Carier Based on Cohen-Coon Method

¹Adi Mulyadi, ²Adi Pratama Putra, ³Dessy Ana Laila Sari, ⁴Rezki Nalandari

¹Teknik Elektro, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi

²Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi

³Teknik Elektro, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi

⁴Teknik Elektro, Universitas PGRI Banyuwangi, Banyuwangi

Adimulyadi.mt@gmail.com, tama.adie@unibabwi.ac.id, dessynaa1995@gmail.com, rezkinalandari@unibabwi.ac.id

Abstract – This paper deal with the design of a 3-phase induction motor speed control system. The problem was the 3-phase induction motor speed does not maintain constant speed, an overshoot and a long rise time. The PID controller and a PID tuning based on Cohen Coon are proposed to overcome constant speed, overshoot and rise time. The simulation result shows that the uncontrolled speed of induction motor has an overshoot 55.46%, rise time 17.72 ms, and peak amplitude 152 sec. Then, the motor speed by using PID controller has an overshoot 63.11%, rise time 13.75 ms, and peak amplitude is 100.8 sec. While the motor speed using the PID tuning based on Cohen Coon has an overshoot 53.11%, rise time 13.79 ms, and peak amplitude is 93.63 sec. PID tuning based on Cohen Coon method can reduce more overshoot 10%, more quickly rise time 0.04, and it can maintain the motor speed at any condition.

Keywords — 3-phase Induction Motor, PID Controller, Cohen Coon Method

Abstrak—Paper ini membahas tentang desain sistem kendali kecepatan motor induksi 3 fasa. Permasalahan kecepatan motor induksi 3 fasa tidak dapat mempertahankan kecepatan yang konstan, overshoot, dan waktu naik yang lama. Kontrol PID diusulkan untuk mengatasi kecepatan yang konstan, overshoot, dan waktu naik yang lama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan motor induksi tanpa kontrol memiliki overshoot 55.46%, rise time 17.72 ms, dan peak amplitude 152 sec. Kemudian kecepatan motor dengan menggunakan kontrol PID memiliki overshoot 63.11%, rise time 13.75 ms, dan peak amplitude is 100.8 sec. Sedangkan kecepatan motor menggunakan tuning PID berdasarkan metode Cohen Coon memiliki overshoot 53.11%, rise time 13.79 ms, dan peak amplitude is 93.63 sec. tuning PID berdasarkan metode Cohen Coon dapat mengurangi overshoot 10% lebih cepat, waktu naik lebih cepat 0.04, dan dapat mempertahankan kecepatan motor pada kondisi apapun.

Kata Kunci—Motor Induksi 3 Fasa, Kontrol PID, Metode Cohen Coon

I. Pendahuluan

Peralatan yang sering digunakan untuk menunjang kinerja industri adalah motor induksi 3 fasa. Motor induksi 3 fasa memiliki konstruksi sederhana dibandingkan dengan motor dc. Motor induksi terdiri dari stator dan rotor, dimana arus yang mengalir akan menginduksi pada sisi rotor. Konduktor rotor

dialiri oleh arus dalam bentuk medan magnet agar timbul gaya untuk menghasilkan gerak putar dalam arah tegak lurus [1]. Motor induksi yang baru lebih sensitif terhadap tegangan dan kecepatannya dapat diatur. Sistem yang digerakkan oleh motor telah digunakan lebih 66% dari total konsumsi energi listrik [2] Dalam beberapa tahun terakhir, motor induksi seperti jenis *squirrel cage* mengalami penurunan pengendalian secara drastis. Pengembangan kecepatan komputer bekerja sama dengan mikrokontroler, sistem pengendali AC telah digunakan sebagai alternatif motor DC pada kecepatan yang bervariasi [3]. Motor DC lebih banyak digunakan pada aplikasi pengaturan kecepatan dan torsi, karena fluks dan torsi mudah diatur dengan mengubah arus medan atau arus jangkar. Selain itu, motor DC tidak membutuhkan *inverter* dalam pengendaliannya. Namun perawatan intens yang disebabkan adanya komutator dan sikat, sehingga penggunaan tidak handal [4]. Kecepatan putar motor induksi dibutuhkan untuk menggerakkan beban konstan, beban bervariasi, dan beban energi konstan. Permasalahan yang terjadi pada kecepatan motor induksi adalah mempertahankan kecepatan yang konstan, overshoot yang besar, waktu naik yang lama. Oleh karena itu diperlukan sistem pengendali agar dapat mempertahankan respon kecepatan yang konstan, overshoot yang rendah, dan waktu naik yang cepat [5][6]. Penelitian ini mengusulkan desain sistem kendali kecepatan motor induksi 3 fasa untuk mempertahankan kecepatan yang konstan, overshoot yang rendah, dan waktu naik yang cepat. Sistem kendali menggunakan metode kontrol PID yang disusun secara paralel. *Output* kontrol berfungsi sebagai penjumlahan kontroler *proportional*, *integral*, dan *derivative*. Kemudian nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d diatur dengan parameter *tuning Cohen-Coon* (CC) jika ada perubahan kecepatan motor yang tiba-tiba.

II. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan untuk meningkatkan performa motor induksi dengan berbasis desain sistem kendali sebagai berikut.

1. Pemodelan motor induksi secara fisik dengan rekaan ke dalam model matematis, sehingga diperoleh transformasi *laplace*.

- Merancang nilai konstanta *proportional*, *integral*, *derivative* (PID) berdasarkan fungsi alih motor induksi.
- Simulasi pengujian loop tertutup tanpa kontrol terhadap model plant, kemudian sistem diberikan kontrol PID.
- Konstanta parameter PID dituning berdasarkan nilai K_p , K_i , dan K_d dengan menggunakan metode Cohen-Coon. Hasil perancangan akan dibandingkan dengan tanpa kontrol, kontrol PID dan *tuning* PID.

A. Kontroler PID

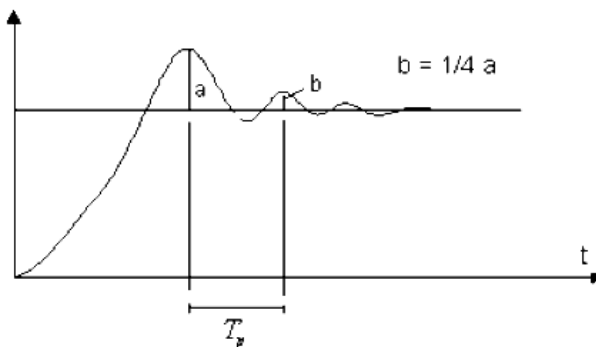
Kontroler PID digunakan untuk mengurangi sinyal kesalahan. *Proportional Integral Derivative* (PID) mempercepat reaksi sistem, menghilangkan osilasi, *overshoot*, dan menghasilkan perubahan awal yang besar [7]. Kontrol PID dapat digunakan secara bersama atau terpisah, karena setiap kontroler memiliki kelebihan masing-masing seperti kontrol proporsional dengan kebelihan mempercepat *rise time*, kontroler integral memperkecil nilai *error*, dan kontrol derivatif mengurangi *overshoot*. Persamaan ketiga kontrol dapat ditulis sebagai berikut [8].

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (1)$$

Persamaan 1 menjelaskan nilai *output* $U(t)$ adalah jumlah *gain proportional* K_p , *gain integral* K_i , dan *gain derivative* K_d , dimana masing-masing kontroler dipengaruhi oleh error (e) dan waktu (t) [8].

B. Cohen-Coon Method.

Respon sistem plant menggunakan kontrol PID mengalami osilasi dengan amplitude tetap. Sehingga metode *Cohen-Coon* dapat mempeprbaiki osilasi dengan *quarter amplitude decay*. *Quarter amplitude decay* digunakan sebagai respon *transient* dengan amplitude periode pertama memiliki perbandingan sebesar $\frac{1}{4}$. Respon *amplitude* dapat dilihat pada gambar 1 [9].



Gambar 1. Respon *Amplitude Quarter Amplitude Decay* [9].

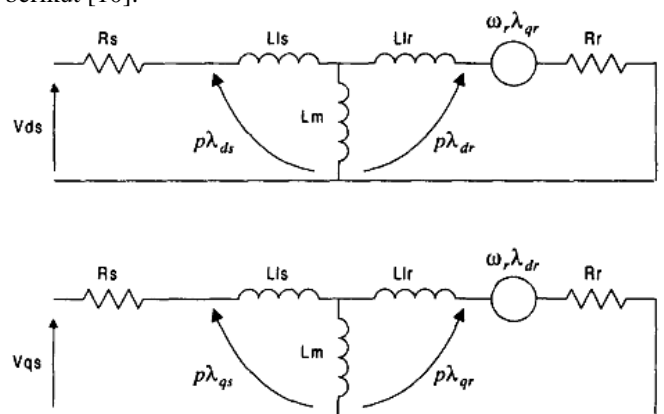
Kontroler *proportional* K_p dituning sehingga diperoleh tanggapan *quarter amplitude decay*. Periode saat tanggapan disebut T_p , dan parameter T_i , T_d dihitung dari K_p dengan T_p . Tuning parameter kontroler PID sama dengan metode *Ziegler-Nichols*. Metode *Cohen-Coon* dapat dihitung dengan aturan parameter kurva reaksi sebagai berikut [9].

Tabel 1. Parameter Tuning PID dengan Cohen-Coon.

Tipe Kontroler	K_c	T_i	T_d
P	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	-
PI	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[0,9 + \frac{1}{12} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	$L \left[\frac{30+3 \left(\frac{L}{T} \right)}{9+20 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	-
PD	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{5}{4} + \frac{1}{6} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	-	$L \left[\frac{6 - 2 \left(\frac{L}{T} \right)}{22 + 3 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$
PID	$\frac{1}{K} \left(\frac{T}{L} \right) \left[\frac{4}{3} + \frac{1}{4} \left(\frac{L}{T} \right) \right]$	$L \left[\frac{32+6 \left(\frac{L}{T} \right)}{13+8 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$	$L \left[\frac{4}{11 + 2 \left(\frac{L}{T} \right)} \right]$

C. Pemodelan Sistem Motor Induksi

Pemodelan sistem motor induksi digunakan sebagai model tinjauan baku motor. Rangkaian dimodelkan untuk mendeskripsikan sistem yang terdiri dari vektor dengan dua koordinat orthogonal dan polar. Komponen vektor digabungkan dengan variabel yaitu *direct-quadrature* (d-q). sehingga model rangkaian ekuivalen motor induksi sebagai berikut [10].



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi [10]

D. Model Matematis Motor Induksi

Model matematis motor induksi didapatkan dengan analisa secara dinamik pada rangkaian ekuivalen dan kerangka motor.

$$V_{sd}(t) = R_s i_{sd}(t) - n_p \omega_m(t) \lambda_{sq} + \frac{d}{dt} \lambda_{sd} \quad (2)$$

$$V_{sq}(t) = R_s i_{sq}(t) - n_p \omega_m(t) \lambda_{sd} + \frac{d}{dt} \lambda_{sq} \quad (3)$$

$$V_{rd}(t) = 0 = R_r i_{rd}(t) - n_p \omega_m(t) \lambda_{rq} + \frac{d}{dt} \lambda_{rd} \quad (4)$$

$$V_{rq}(t) = 0 = R_r i_{rq}(t) - n_p \omega_m(t) \lambda_{rd} + \frac{d}{dt} \lambda_{rq} \quad (5)$$

Persamaan medan putar pada motor induksi jenis (*squerrel cage*) sebagai berikut.

$$\lambda_{sd} = L_s i_{sd}(t) + L_m i_{rd}(t) \quad (6)$$

$$\lambda_{sq} = L_s i_{sq}(t) + L_m i_{rq}(t) \quad (7)$$

$$\lambda_{rd} = L_s i_{rd}(t) + L_m i_{sd}(t) \quad (8)$$

$$\lambda_{rq} = L_s i_{rq}(t) + L_m i_{sq}(t) \quad (9)$$

Torsi elektromagnetik sebagai berikut.

$$T_{em} = n_p \frac{L_m}{L_r} (\lambda_{rd} i_{sq}(t) - \lambda_{rq} i_{sd}(t)) \quad (10)$$

Persamaan elektrodinamik adalah.

$$J_{sq} \frac{d}{dt} \omega_m(t) = T_m(t) - T_b(t) - T_L(t) \quad (11)$$

$$T_b(t) = B_m \omega_m(t) \quad (12)$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m(t) = \omega_m(t) \quad (13)$$

Fungsi alih dan diagram blok motor induksi

Sistem mempunyai beberapa input seperti model *direct quadrature* (d-q) kerangka referensi $V_{sd}(t)$, $V_{sq}(t)$, dan $T_L(t)$, maka untuk mendapatkan fungsi alih lebih rumit jika dibandingkan dengan sistem input tunggal. Seperti motor dc dengan membandingkan antarara $\omega_m(t)$ sebagai keluaran dengan $E_a(t)$ sebagai masukan acuan. Sama halnya dengan motor induksi, untuk mendapatkan fungsi alih dengan membandingkan antara $\omega_m(t)$ sebagai keluaran $V_{sd}(t)$ dan $V_{sq}(t)$ sebagai input dua koordinat *orthogonal* dan *polar*. Fungsi alih dari tegangan input dan beban $T_L(t)$ harus sama dengan nol.

Persamaan (11) di atas adalah sebagai berikut.

$$(J_{sq}s + B_m)\omega_m(s) = T_{em}(s) - T_L(s) \quad (14)$$

$$\omega_m(s) = \frac{T_{em}(s)}{(J_{sq}s + B_m)} = \frac{n_p L_m (\lambda_{rd} i_{sq}(s) - \lambda_{rq} i_{sd}(s))}{L_m (J_{sq}s + B_m)} \quad (15)$$

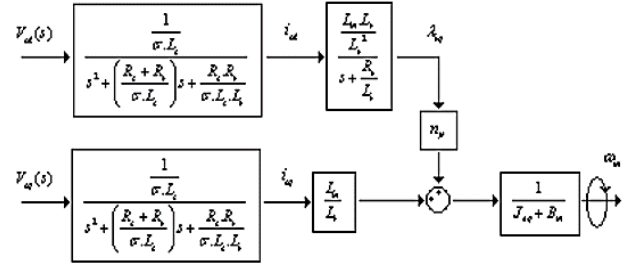
$$V_{sd}(t) = n_p \beta \omega_m(t) \lambda_{rq} + \eta \beta \lambda_{rd} + \gamma i_{sd}(t) + \frac{d}{dt} i_{sd}(t) \sigma L_s \quad (16)$$

Jika β , η , dan γ disubsitusikan sebagai berikut.

$$V_{sd}(t) = \left((n_p \omega_m(t)) \lambda_{rq} + \frac{R_r}{L_r} \lambda_{rd} \right) + \frac{L_m}{\sigma L_s L_r} + \left(\frac{L_m}{\sigma L_s L_r} + \frac{L_m}{\sigma L_s} \right) i_{sd}(t) + \frac{d}{dt} i_{sd}(t) \sigma L_s \quad (17)$$

$$V_{sd}(s) = n_p + \frac{L_m}{L_s} \omega_m(s) \lambda_{rq} + \frac{R_r L_m}{L_r^2} \lambda_{rd} + \left(\frac{L_m}{L_r} + R_s + \sigma L_s s \right) i_{sd}(s) \quad (18)$$

Dari fungsi alih persamaan (18) dimasukan ke dalam blok diagram sebagai berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Motor Induksi [1].

Maka persamaan fungsi alih motor induksi sebagai berikut.

$$\frac{\omega_m(s)}{V_{sd}(s)} = \frac{n_p L_m (\lambda_{rd} i_{sq}(s) - \lambda_{rq} i_{sd}(s))}{L_r (J_{sq}s + B_m)} \quad (19)$$

E. Jenis Motor Induksi

Jenis motor induksi yang akan digunakan pada pendesainan ini adalah motor jenis *squerrel cage* (sangkar tupai). Agar dapat didesain maka harus diketahui terlebih dahulu nilai dari parameter-parameter yang dimiliki oleh motor induksi tersebut. Motor yang digunakan ini adalah motor induksi jenis YCT355-4B dengan tegangan 380 V, merupakan motor arus bolak-balik (AC). Motor ini mempunyai data-data spesifikasi yang dapat dilihat pada table 2. seperti di bawah ini

Tabel 2. Data Parameter (Font 9)

No	Parameter	Value
1	Tegangan Sumber	380 Volt
2	Jumlah Pole	2
3	Frekuensi	50 Hz
4	Momen Inersia Rotor	0.3 Kg.m ²
5	Tahanan Stator	1.5 m
6	Tahanan Rotor	0.285 m
7	Induktansi Stator	2.7 m
8	Induktansi Rotor	1.11 m
9	Induktansi Magnetik	1.59 m
10	Slip	4000 Nm ⁻¹
11	Koefesien Gesekan	2400 Nm ⁻¹
12	RPM	1340 Rpm
13	Daya	75 kW
14	Torsi Rotor	469 Nm

Sumber : P.T.P.G Unit Kreet Baru II Malang [11]

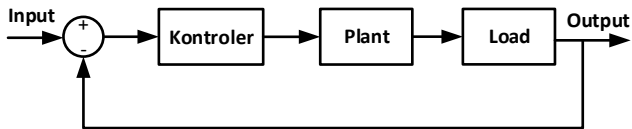
Nilai-nilai dari parameter ini kemudian akan disubsitusikan ke dalam bentuk sebuah fungsi alih dari persamaan (18) di atas sebagai fungsi alih motor induksi yang akan dilengkapi dan disempurnakan spesifikasi keluarannya dengan kontroller.

$$\frac{\omega_m(s)}{V_{sd}(s)} = \frac{1.78}{0.72 \times 10^{-3} s^2 + 0.0157s + 3.168} \quad (20)$$

$$\frac{\omega_m(s)}{V_{sd}(s)} = \frac{2470}{s^2 + 21.79s + 4400} \quad (21)$$

F. Desain Sistem Kendali Motor Induksi

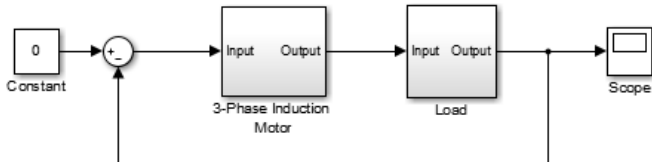
Desain sistem kendali motor induksi menggunakan controller PID. sistem terdiri dari *input*, kontroler, *plant*, beban dan *output*. *Input* sistem pengendali berupa variabel kecepatan motor yang diharapkan, dan *output* sebagai kecepatan motor yang sesungguhnya. Jika terjadi gangguan beban, maka mengakibatkan perubahan *output* kecepatan. Sehingga perubahan dibaca oleh sensor kemudian apabila *output* kecepatan tidak sama dengan *setpoint* kecepatan, maka akan terjadi kesalahan. Selanjutnya motor akan dilakukan pengaturan menggunakan penguat dengan pengendalian tegangan agar *output* sama dengan *setpoint* [12].



Gambar 4. Blok Diagram Sistem Kendali Motor Induksi

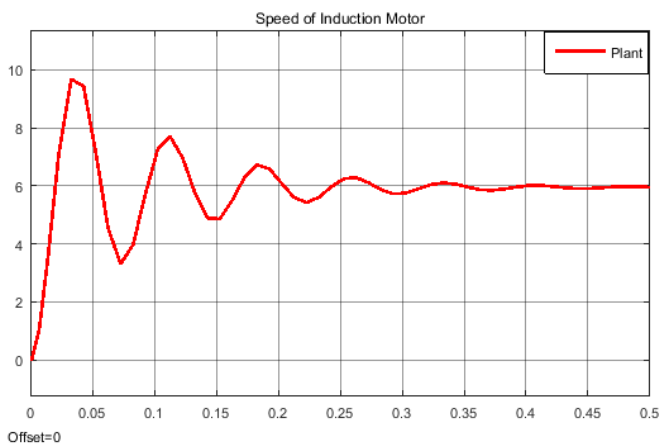
III. Hasil dan Pembahasan

Gambar 5 menunjukkan desain sistem tanpa kendali dengan menggunakan *setpoint* mulai dari kecepatan nol sampai kecepatan 1500 RPM. Kecepatan akan dibandingkan dengan menggunakan kontrol PID dan *tuning* parameter PID dengan metode Cohen-Coon.



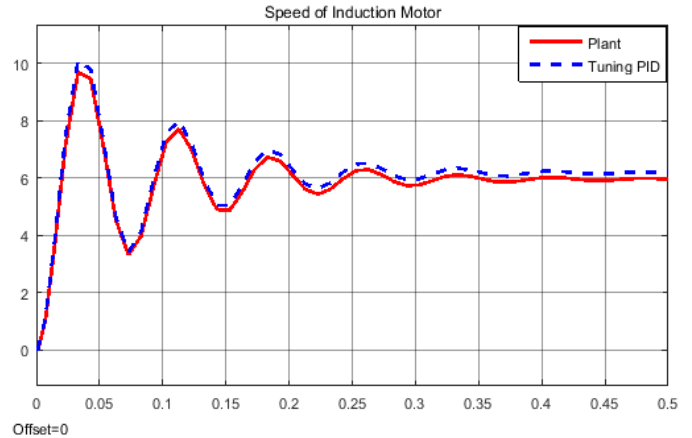
Gambar 5. Desain Blok Motor Induksi Tanpa Kendali

Gambar 6 menjelaskan respon motor induksi dengan kecepatan 100 Rpm dan beban *cane carier* 0.176 Kg.ms². Beban berupa potongan tebu yang dibawa oleh *conveyor* menuju mesin pemotong. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan motor mengalami *overshoot* 55.46%, *rise time* 17.72 ms, dan *peak amplitude* adalah 152 sec.



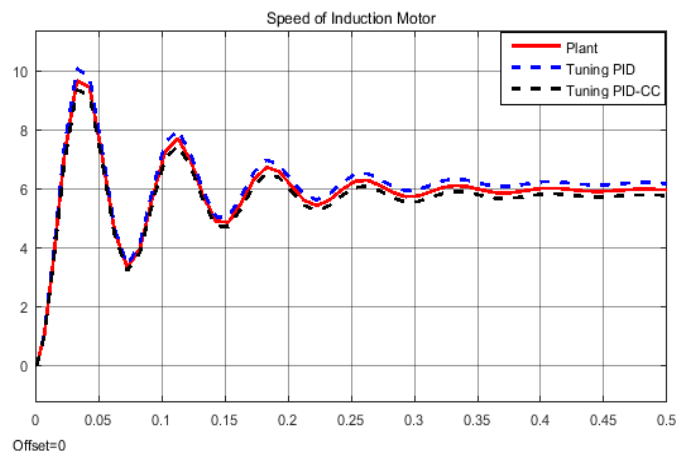
Gambar 6. Desain Blok Motor Induksi Tanpa Kendali

Gambar 7 menjelaskan respon motor induksi dengan beban 0.176 Kg.ms². Respon motor diberikan *input* sebesar 100. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan motor tanpa kontrol mengalami *overshoot* 55.46%, *rise time* 17.51 ms, dan *peak amplitude* adalah 768 sec. Sedangkan kecepatan motor dengan kontrol PID memiliki *overshoot* 63.11%, *rise time* 13.75 ms, dan *peak amplitude* adalah 100.8 sec.



Gambar 7. Desain Blok Motor Induksi Tanpa Kendali

Gambar 8 menjelaskan respon motor induksi dengan beban 0.176 Kg.ms². Respon motor diberikan *input* sebesar 100. Hasil menunjukkan bahwa kecepatan motor tanpa kontrol mengalami *overshoot* 55.46%, *rise time* 17.51 ms, dan *peak amplitude* adalah 768 sec. Kemudian kecepatan motor dengan kontrol PID memiliki *overshoot* 63.11%, *rise time* 13.75 ms, dan *peak amplitude* adalah 100.8 sec. Sedangkan kecepatan motor menggunakan *tuning PID* Cohen Coon mempunyai *overshoot* 53.11%, *rise time* 13.79 ms, dan *peak amplitude* adalah 93.63 sec.



Gambar 8. Desain Blok Motor Induksi dengan Kontrol PID dan Tuning PID Cohen Coon

IV. Kesimpulan

Desain sistem kendali kecepatan motor induksi 3 fasa dengan tanpa kontrol, kontrol PID, dan *tuning* kontrol PID berdasarkan metode Cohen Coon dapat diambil kesimpulan bahwa sebagai berikut.

1. Kecepatan diatur 100 Rpm dengan beban *cane carier* 0.176 Kg.ms². Beban berupa potongan tebu yang dibawa oleh *conveyor* menuju mesin pemotong. Kecepatan motor tanpa kontrol mengalami *overshoot* 55.46%, *rise time* 17.72 ms, dan *peak amplitude* adalah 152 sec.
2. Kecepatan motor dengan kontrol PID memiliki *overshoot* 63.11%, *rise time* 13.75 ms, dan *peak amplitude* adalah 100.8 sec.
3. Sedangkan kecepatan motor menggunakan *tuning PID* Cohen Coon mempunyai *overshoot* 53.11%, *rise time* 13.79 ms, dan *peak amplitude* adalah 93.63 sec.

V. Daftar Pustaka

- [1] Zulfatman, "Desain Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Phase," vol. 1, pp. 144–154, 2006.
- [2] E. Quispe, G. Gonzalez, and J. Aguado, "Influence of unbalanced and waveform voltage on the performance characteristics of three-phase induction motors," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2004.
- [3] C. Saravanan, A. M. Azarudeen, and S. Selvakumar, "Performance of Three Phase Induction Motor Using Modified Stator Winding," *Glob. J. Res. Eng. Electr. Electron. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 1–7, 2012.
- [4] A. M. Prasetya and H. Santoso, "Implementation of Scalar Control Method for 3 Phase Induction Motor Speed Control," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.)*, vol. 3, no. 1, pp. 63–69, 2018.
- [5] B. Widodo, "Simulasi Pengendali P. I. D. Fuzzy Pada Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Arus Searah," *J. Sains dan Teknol. EMAS*, vol. 18, no. 3, pp. 175–190, 2008.
- [6] S. Ferdiansah D. S., Gigih Prabowo, "Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 ϕ dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC) (Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan)," *Politenik Elektron. Negeri Surabaya - ITS*, pp. 1–5, 2012.
- [7] J. P. Handy Wicaksono, "Kontrol PID Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Metode Tuning Direct Synthesis," *J. Tek. Elektro Univ. Kristen Petra*, vol. 4, no. 1, pp. 10–17, 2004.
- [8] R. Rahmayani, Sahara, and S. Zelviani, "Jurnal fisika dan terapannya," vol. 7, no. 2020, pp. 87–96, 2020.
- [9] W. H. R. Babatunde A, Ongunnaike, *Process Dynamics, Modeling, and Control*. 2005.
- [10] A. K. A.B. Proca, "Induction Motor Parameter Identification From Operating Data For Electric Drive Applications," *Gatew. to New Millenn. 18th Digit. Avion. Syst. Conf. Proc.*, pp. 1–6, 1999.
- [11] N. Mulyadi, Adi, A.H, Ermanu, "Simulasi Kontrol Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Pada Mesin Pemotong Tebu," *eprints.umm.ac.id*, 2014.
- [12] R. K. Yudaningsy, Erni & Subroto, *Sistem Kontrol Lanjut*. Malang: UB Press Malang, 2019.