
**Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode V/F
Konstan Dan Kontrol Pid-Chr**

Maulana Malik Ibrahim^{1*}; Sutedjo¹; Indra Ferdiansyah¹

1. Politeknik Elektronika Surabaya, Surabaya, Jawa Timur 60111, Indonesia

*Email: anang.169d@gmail.com

Abstract

Its sturdy construction and simple maintenance make the induction motor the main driving machine in the industry. Induction motor speed setting is one of the operating conditions that are often used so that an inverter 3 phase is needed as an induction motor speed regulator. Inverter 3 phase is a device used to make AC voltage 3 phase from dc voltage supply source. Inverter 3 phase used type Current Source Inverter that uses the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) method with constant voltage / frequency control (v/f constant). In optimizing the motor response, it is used to control feedback with a low error rate, pid-CHR control is applied which can cover a wider range of operating conditions and is easily adjustable.

Keywords: Induction Motor, SPWM, V/f Constant, PID-CHR

Abstrak

Konstruksi yang kokoh dan perawatan sederhana membuat motor induksi menjadi mesin penggerak utama di industri. Pengaturan kecepatan motor induksi merupakan salah satu kondisi operasi yang sering digunakan sehingga diperlukan inverter 3 fasa sebagai pengatur kecepatan motor induksi. Inverter 3 fasa merupakan perangkat yang digunakan untuk membuat tegangan AC 3 fasa dari sumber suplai tegangan DC. Inverter 3 fasa yang dipakai berjenis Current Source Inverter yang menggunakan metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) dengan kontrol tegangan/frekuensi konstan (v/f konstan). Dalam mengoptimalkan respon motor maka digunakan kontrol umpan balik dengan tingkat error yang rendah maka diterapkan kontrol PID-CHR yang dapat mencakup berbagai kondisi operasi yang lebih luas dan mudah disesuaikan.

Kata kunci: Motor Induksi, Current Source Inverter, SPWM, V/f Konstan, PID-CHR

1. PENDAHULUAN

Penggunaan motor induksi telah meningkat dalam penggunaannya terutama di bidang industri. Konstruksi motor induksi lebih sederhana, tidak ada bagian stator yang berhubungan atau bersentuhan dengan rotor, sehingga tidak membutuhkan komutator dan sikat arang [1]. Di sisi lain pengaturan kecepatan motor induksi masih menjadi persoalan [2]. Pengaturan kecepatan motor induksi lebih penting untuk mencapai torsi dan efisiensi maksimum [3]. Salah satu jenis kontrol pengaturan kecepatan yang dapat diterapkan salah satunya kontrol skalar [4]. Metode V/f memiliki keunggulan dari pada metode yang lain karena kesederhanaan dan fleksibilitas kerja (mampu bekerja di berbagai kondisi) [4]. Metode yang paling populer dikalangan industri ini melakukan perubahan tegangan dan frekuensi dengan menjaga perbandingan tegangan dan frekuensi (derating) dari sumber motor induksi [5]. Namun dengan adanya pengaturan kecepatan memberikan sisi yang berlawanan dengan sifat pada motor induksi sendiri.

Untuk mengaplikasikan metode tersebut dibutuhkan inverter untuk mengubah sumber suplai DC menjadi tegangan AC. Secara umum inverter dapat diklasifikasikan menjadi voltage source inverter (VSI) dan current source inverter (CSI). Inverter sumber tegangan menghasilkan bentuk gelombang tegangan tiga fase yang ditentukan untuk beban sementara inverter sumber arus mengeluarkan bentuk gelombang arus yang sudah ditentukan [6]–[8]. Penggunaan inverter pada kegiatan industri dan jaringan tenaga listrik sangatlah beragam. Inverter sering digunakan sebagai sumber daya AC, penyuplai daya kontinu, pemanas induksi, pengendali frekuensi variabel, dan pengendali motor.

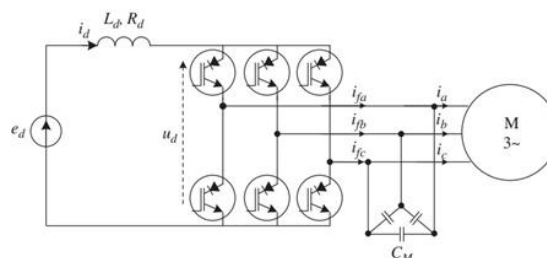
2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Untuk menunjang hasil pengujian maka akan dijelaskan beberapa dasar teori yang sesuai dengan judul jurnal seperti converter daya, metode pengaturan kecepatan motor, dan kontrol umpan balik yang diterapkan.

2.1. Current Source Inverter

Inverter yang digunakan pada penggerak tegangan menengah (MV) secara umum dapat diklasifikasikan menjadi inverter sumber tegangan (VSI) dan inverter sumber arus (CSI). Inverter sumber arus mengeluarkan bentuk gelombang arus yang sudah ditentukan. Inverter sumber arus memiliki fitur topologi konverter sederhana, bentuk gelombang ramah motor, dan perlindungan hubung singkat yang andal, oleh karena itu merupakan salah satu topologi inverter yang banyak digunakan untuk *driver* MV [9]–[11].

Penggunaan inverter pada kegiatan industri dan jaringan tenaga listrik sangatlah beragam. Inverter sering digunakan sebagai sumber daya AC, penyuplai daya kontinu, pemanas induksi, pengendali frekuensi variabel, dan pengendali motor. Disini inverter berfungsi sebagai perangkat yang mengatur kecepatan motor induksi dengan memvariasikan frekuensi masukan pada motor induksi.



Gambar 1. Current Source Inverter

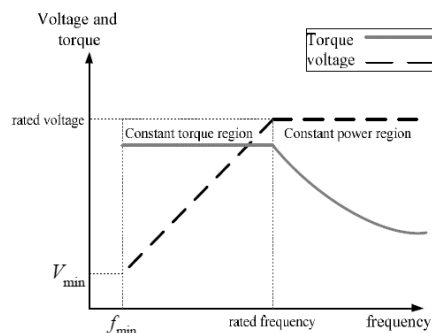
2.2. Metode Tegangan/frekuensi Konstan (V/f Konstan)

Kecepatan motor induksi berbanding lurus dengan frekuensi sumber daya dan jumlah kutub dari motor. Karena jumlah kutub ditetapkan melalui desain, cara terbaik untuk merubah kecepatan dari motor induksi tersebut adalah dengan merubah frekuensi sumber daya. Torsi yang dihasilkan oleh motor induksi adalah berbanding lurus dengan rasio tegangan yang diberikan dan frekuensi sumber daya. Dengan merubah tegangan dan frekuensi, tetapi menjaga konstan rasio keduanya, torsi yang dihasilkan dapat dijaga konstan sepanjang daerah pengaturan kecepatan.

Memvariasikan tegangan dan frekuensi oleh rasio yang sama, torsi dapat dijaga konstan dan independen frekuensi suplai di seluruh rentang kecepatan, seperti pada Persamaan berikut.

$$V_{eff} \propto f \cdot \phi \Rightarrow \phi \propto V/f \quad (1)$$

Di mana V dan ϕ adalah tegangan stator dan fluksmasing-masing serta f adalah frekuensi tegangan input. Ini membuat v/f constan adalah kontrol kecepatan paling umum motor induksi, seperti grafik v/f constan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Karakteristik V/f constan

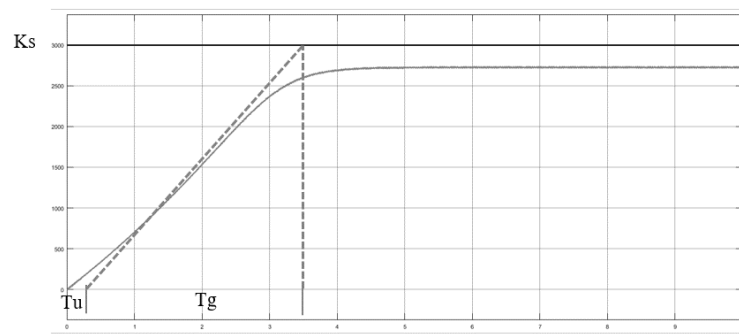
2.3. Kontrol PID-CHR

PID merupakan salah satu jenis kontroler yang sering digunakan dalam dunia elektronika. Tak dapat dipungkiri, sampai saat ini kontrol PID (Proporsional Integral Derivative) merupakan satu-satunya strategi yang paling banyak diadopsi pada pengontrolan proses industri.

Metode penyesuaian ini diperkenalkan oleh Chien, Hrones dan Reswick pada tahun 1952. Metode ini dapat diterapkan pada sistem yang dikontrol tanpa osilasi dengan kompensasi serta sistem yang dikontrol tanpa kompensasi dan didasarkan pada parameter sistem yang dikontrol, yang dapat diturunkan dari respons langkah sistem yang dikendalikan.

2.3.1. Tuning PID-CHR

Pada simulasi sistem terbuka dengan harapan nilai setpoint 1500 rpm dan dihasilkan kecepatan rotor maksimal (Nm) sebesar 2728 rpm (kecepatan mekanik motor) sehingga kurva respon tanggapan dapat dibuat sebagai berikut. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan parameter kontrol PID dengan metode PID-CHR. Tujuan utamanya untuk menentukan parameter K_p , K_i , K_d .



Gambar 3. Respon Open Loop 3000 RPM

$T_u = 0.207s$; $T_g = 3.208s$; $K_s = 1$.

Perhitungan PID-CHR :

$$K_p = 0.95 \times \frac{T_g}{T_u \times K_s}$$

$$= 0.95 \times \frac{3.208}{0.207 \times 1}$$

$$= 14.72$$

$$T_v = 0.42 \times T_u$$

$$= 2.4 \times T_u$$

$$= 0.2086$$

$$K_d = K_p \times T_v$$

$$= 14.72 \times 0.2086$$

$$= 3.07$$

$$T_n = 2.4 \times T_u$$

$$= 2.4 \times 0.207$$

$$= 0.4968$$

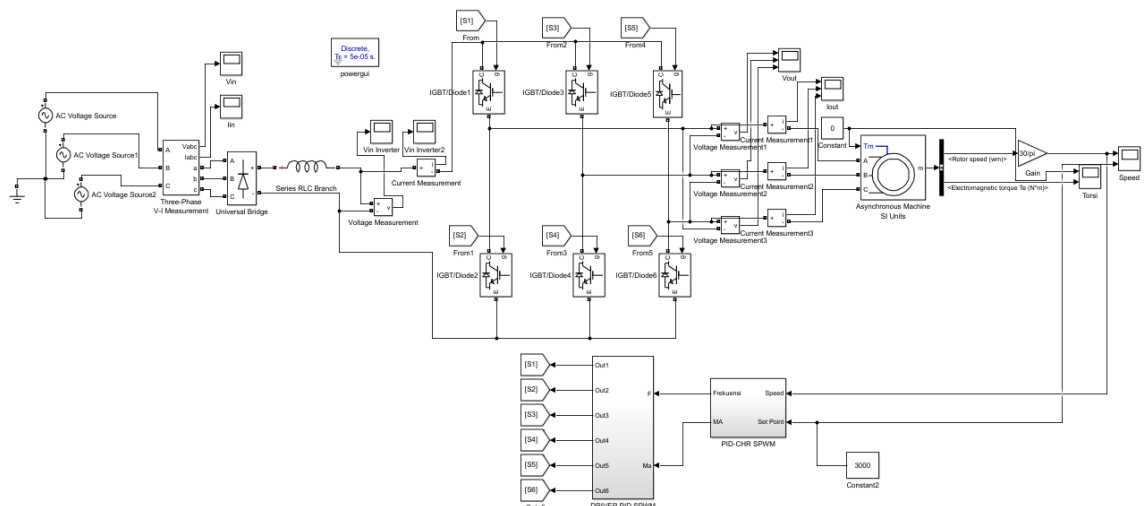
$$K_i = \frac{K_p}{T_n}$$

$$= \frac{14.72}{0.4968}$$

$$= 31.33$$

2.4. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan cara simulasi menggunakan aplikasi simulasi Matlab. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode V/F Konstan dan Kontrol PID-CHR

Sistem ini terdiri dari konverter daya berupa rangkaian penyearah 3 fasa, inverter 3 fasa serta motor induksi 3 fasa. Untuk metode penyulutan switching pada inverter 3 fasa digunakan metode

Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) dengan kontrol tegangan/frekuensi konstan (v/f konstan). Serta kontrol umpan balik PID-CHR. Gambar 4 menunjukkan rangkaian blok *MatLab/Simulink*.

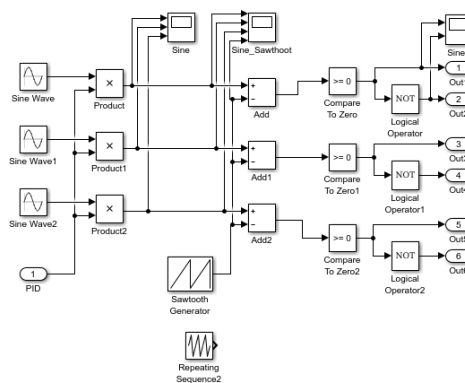
Tabel 1. Parameter Motor Induksi Dalam MATLAB/SIMULINK

Parameter	Nilai
Daya	4 kW
Tegangan	400 V
Pole	4
Kecepatan	2860 RPM
Frekuensi	50 Hz

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

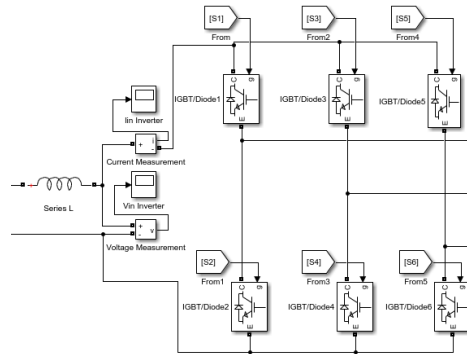
Pada bab ini akan ditunjukkan hasil dari pengujian keseluruhan sistem secara tertutup dengan kontrol umpan balik PID-CHR. Motor diberikan beban awal sebesar 5Nm kemudian di lanjutkan pemberian gangguan dengan menaikkan torsi beban sebesar 8, 10, dan 12 Nm secara bergantian. Kemudian di amati respon kecepatan yang dihasilkan oleh motor ketika diberi gangguan.

Sinyal penyulutan inverter 3 fasa menggunakan metode Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM), dimana terdapat dua sinyal yang dibandingkan yaitu sinyal refrensi berupa sinyal sinusoidal dan sinyal carrier yaitu sinyal segitiga. Terdapat 3 sinyal refrensi yang digunakan untuk masing-masing fasa yang memiliki perbedaan sudut sebesar 120° . Hasil perbandingan kedua sinyal ini digunakan sebagai sinyal penyulutan IGBT pada inverter. Berikut blok diagram sirkuit Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) pada Simulink MatLab.



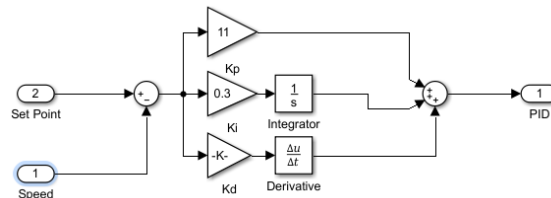
Gambar 5. Diagram Sirkuit SPWM

Sirkuit inverter 3 fasa pada Simulink Matlab dapat dilihat pada gambar 5. Sirkuit inveter ini terdiri dari 3 pasang IGBT yang mendapatkan sinyal penyulutan melalui pembangkitan Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) pada kaki gatenya. Tegangan masukan dari inveter 3 fasa sebesar 565,6 VDC agar didapat tegangan keluaran sebesar 400 Vrms.



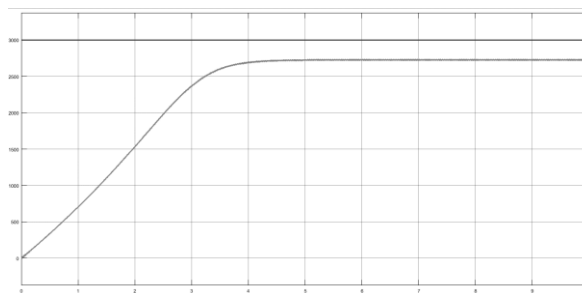
Gambar 6. Diagram Sirkuit Inverter 3 Fasa

Pada keluaran motor induksi 3 fasa diambil data kecepatan dan torsi, dimana kecepatan akan menjadi masukan pada kontrol umpan balik PID-CHR. Diagram sirkuit kontrol PID-CHR pada gambar 8 merupakan kontrol umpan balik yang terdiri dari kontrol V/f konstan dan kontrol PID-CHR.

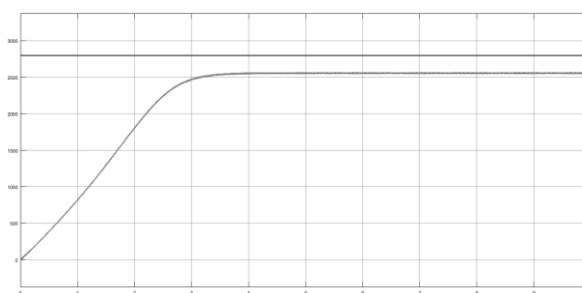


Gambar 7. Diagram Sirkuit Kontrol PID-CHR

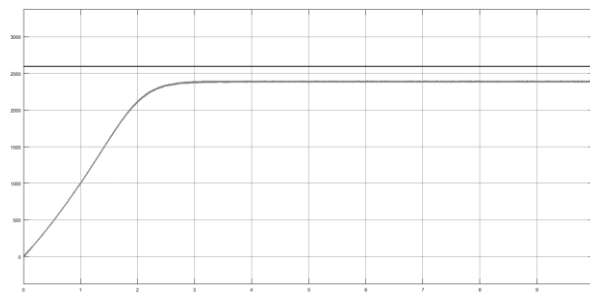
Respon kecepatan motor induksi 3 fasa pada kondisi open loop pada set point 3000 RPM, 2800 RPM, 2600 RPM dengan torsi beban 5Nm dapat dilihat pada gambar 8-10.



Gambar 8. Respon Kecepatan Open Loop Set Point 3000 RPM

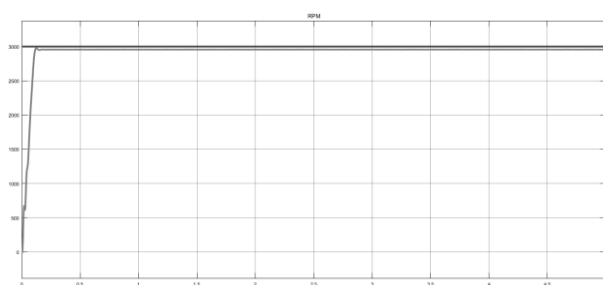


Gambar 9. Respon Kecepatan Open Loop Set Point 2800 RPM

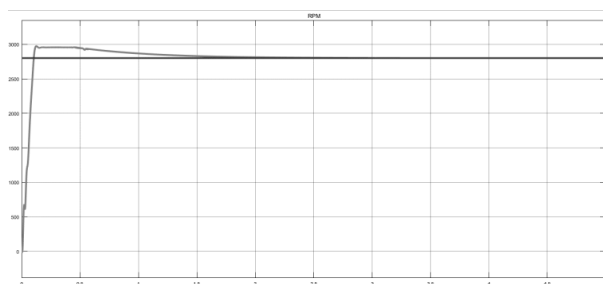


Gambar 10. Respon Kecepatan Open Loop Set Point 2600 RPM

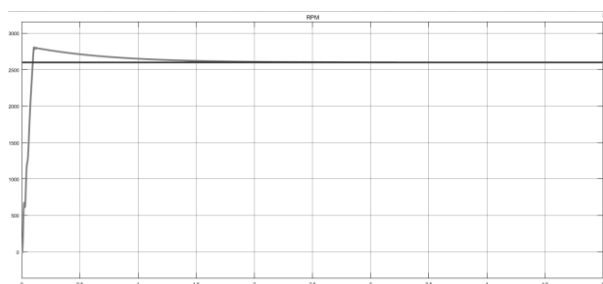
Sedangkan pada gambar 11-13 merupakan respon kecepatan close loop dengan kontrol umpan balik PID-CHR



Gambar 11. Respon Kecepatan Close Loop Set Point 3000 RPM



Gambar 12. Respon Kecepatan Close Loop Set Point 2800 RPM



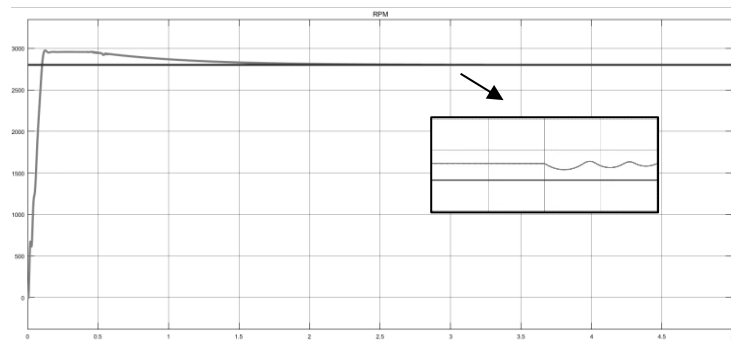
Gambar 13. Respon Kecepatan Close Loop Set Point 2600 RPM

Pada hasil pengujian simulasi kondisi *close loop* menunjukkan dengan adanya kontrol umpan balik maka besar presentase selisih antara kecepatan terukur dengan kecepatan referensi atau setpoint lebih kecil dari pada saat kondisi open loop salah satu contoh pada *setpoint* 3000 rpm memiliki presentase error sebesar 1,6%. Namun kontrol ini masih memiliki kekurangan. Kekurangan dari kontrol ini pada set point 2800rpm dan 2600rpm terjadi peningkatan overshoot. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian simulasi pada kondisi close loop tanpa diberi gangguan.

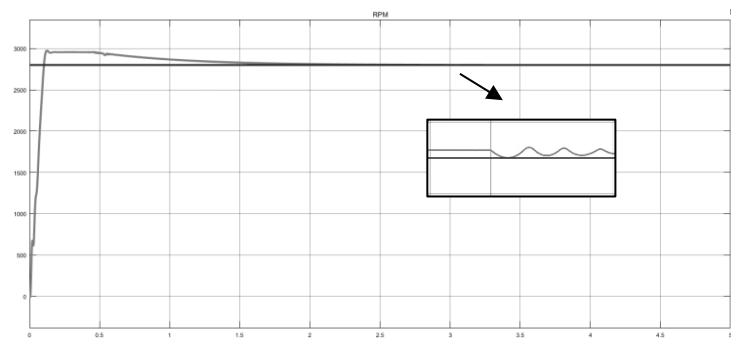
Tabel 2. Hasil Pengujian Simulasi *Close Loop*

Kondisi	Set Point (RPM)	Vout (V)	ma	Fs (Hz)	Overshoot	Rise Time	Setling Time	Kecepatan Rotor (RPM)
Open Loop	3000	400	1,00	50,00	0%	3,13	4,18	2720
	2800	373	0,93	46,67	0%	2,6	3,82	2554
	2600	347	0,87	43,33	0%	2,06	3,5	2383
Close Loop	3000	400	1,00	50,00	0%	0,098	0,17	2950
	2800	373	0,93	46,67	4,5%	0,09	2,05	2802
	2600	347	0,87	43,33	7,73%	0,86	1,95	2599

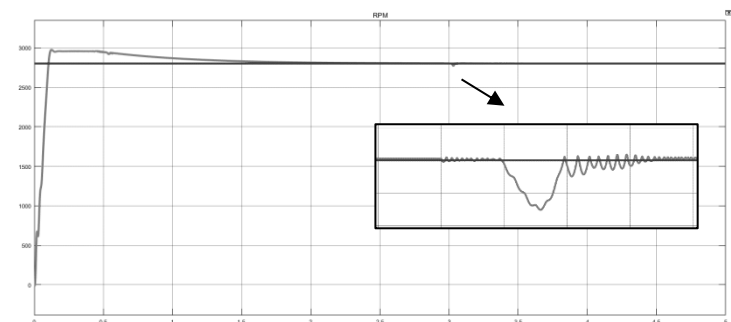
Sedangkan pada gambar 14-16 merupakan respon kecepatan close loop dengan set point 2800 RPM diberi gangguan dan kontrol umpan balik PID-CHR



Gambar 14. Grafik kecepatan ketika diberi gangguan 8 Nm.



Gambar 15. Grafik kecepatan ketika diberi gangguan 10 Nm.



Gambar 16. Grafik kecepatan ketika diberi gangguan 12 Nm.

Kenaikkan torsi beban akan mengakibatkan penurunan kecepatan terukur dengan kondisi daya keluaran tetap, namun dengan adanya kontrol umpan balik respon kecepatan terukur dapat kembali ke nilai *setpoint* dan setelah beberapa saat kembali dalam kondisi *steady*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi dengan metode V/f dioperasikan pada kecepatan nominal dan di bawah kecepatan nominal. Dengan mengubah *setpoint* kecepatan maka akan otomatis merubah nilai frekuensi dan ma. Saat dioperasikan di kecepatan nominal nilai ma bernilai 1 dan saat dioperasikan di kecepatan rendah nilai ma akan berubah-ubah dari 0 hingga 0,9. Hasil simulasi dan pengujian memberikan *steady state error* yang tinggi saat dioperasikan tanpa adanya kontrol sehingga perlu adanya kontrol saat mengendalikan kecepatan motor

Berdasarkan pengujian simulasi secara close loop dengan kontrol *PID-Chien Hrones Reswick* memberikan *error steady state* yang kecil dengan error 0,52 % dan mampu mempertahankan respon pada nilai *setpoint* ketika diberi gangguan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Grasso, B. Allotta, A. Rindi, L. Pugi, A. Fusi, dan A. Ussi, "Transient power pulse calculation in electric motor driving reciprocating compressor," dalam 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, Italy, Jun 2016, hlm. 1–5. doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555692.
- [2] G. R. Ingle dan S. V. Umredkar, "Asymmetrical Two-Phase Induction Motor Using Two-Leg Voltage Source Inverter (VSI)," dalam 2018 Second International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), Erode, Feb 2018, hlm. 582–586. doi: 10.1109/ICCMC.2018.8487845.
- [3] K. T. Maheswari, R. Bharani kumar, D. Lavanya, dan S. Boopathimanikandan, "Design of SVPWM based Closed-Loop Control of Voltage Source Inverter Fed Induction Motor Drive with PID Controller," dalam 2020 Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC), Coimbatore, India, Jan 2020, hlm. 487–492. doi: 10.1109/ICISC47916.2020.9171181.
- [4] S. Madanzadeh, S. S. H. Bukhari, dan J.-S. Ro, "Multifunctional Grid-Connected Voltage Source Inverter to Drive Induction Motor Operating With High-Inertia Load," IEEE Access, vol. 8, hlm. 196765–196774, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034805.
- [5] B. Dwi Priya Setiawan, Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Kontrol Pi-Fuzzy Sebagai Aplikasi Pompa Air. 2019.
- [6] E. R. Priandana dan T. Noguch, "Pure Sinusoidal Output Current-Source Inverter Using New Current Waveform Generation Technique," dalam 2019 IEEE 13th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS), Toulouse, France, Jul 2019, hlm. 1–6. doi: 10.1109/PEDS44367.2019.8998805.
- [7] J. Zhao dan H. Lu, "Study on a new control strategy based on three phase current inverter," dalam 2017 Eighth International Conference on Intelligent Control and Information Processing (ICICIP), Hangzhou, Nov 2017, hlm. 151–156. doi: 10.1109/ICICIP.2017.8113933.
- [8] D. Xue, Y. Chen, dan D. P. Atherton, Linear Feedback Control: Analysis and Design with MATLAB. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007. doi: 10.1137/1.9780898718621.

- [9] B. Wu, High-power converters and AC drives. Hoboken, N.J. : Chichester: Wiley ; John Wiley [distributor], 2006.
- [10] H. Abu-Rub, A. Iqbal, dan J. Guzinski, High Performance Control of AC Drives with Matlab/Simulink, 2 ed. 2021 John Wiley & Sons Ltd, 2021.
- [11] T. Suntio, T. Messo, dan J. Puukko, Power Electronic Converters. 2018.