

# Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus

**Ramly Rasyid**

Program Studi Teknik Elektro,  
Universitas Khairun  
[ramlyteknik@gmail.com](mailto:ramlyteknik@gmail.com)

**Mifta Muhammad**

Program Studi Teknik Elektro,  
Universitas Khairun  
[ramlyteknik@gmail.com](mailto:ramlyteknik@gmail.com)

**Rahman R. Rasyid**

Program Studi Teknik Elektro,  
Universitas Khairun  
[rahmanrasyid@gmail.com](mailto:rahmanrasyid@gmail.com)

**Abstract** - Three-phase induction motors are often used in every industry because three-phase induction motors are relatively cheap. On the three-phase induction motor in order to get a varied speed, one of the methods is the Three-Phase Induction Motor Speed Setting Using SPWM Inverter And Hybrid Volt/Herzt Constant-Sensor Current-Density PID Control in order to maintain the speed of the motor. This simulation was carried out with Matlab 2007 software. Induction motor speed performance set with a set point of 100 rad/detm 140 rad/sec, and 200 rad.det is a consecutive rise time of 0.002 seconds, 0.00116 seconds, and 0.006 seconds, a maximum overshoot of 5.4%, 1.25%, and 0.875% respectively and 0.1518 seconds, 0.1464 seconds, and 0.15 seconds respectively. The response torkanya values between 75 Nm, 90 Nm, and 100 Nm respectively, while the performance of the insulated current is very small

**Keywords:** Induction motor, SPWM inverter, PID controller



[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## I. PENDAHULUAN

Motor induksi banyak dipakai pada industri, hal ini dikarenakan motor induksi harganya relatif murah, strukturnya sederhana, kokoh, dan perawatannya mudah. Namun mesin induksi memiliki kelemahan diantaranya, tidak mampu mempertahankan kecepatan dengan konstan bila terjadi perubahan kecepatan maupun perubahan torsi beban. Berdasarkan penelitian yang ada, motor listrik mengkonsumsi daya lebih sedikit ketika dioperasikan dengan kecepatan variabel, dibandingkan ketika mesin tersebut harus beroperasi dengan kecepatan konstan. Disamping itu memang operasi dengan sistem menghendaki dengan putaran variabel, misalnya pada *traksi*, *elevator*, dan dengan sistem yang hendak putaran variabel membutuhkan suatu sistem kontrol yang baik [1].

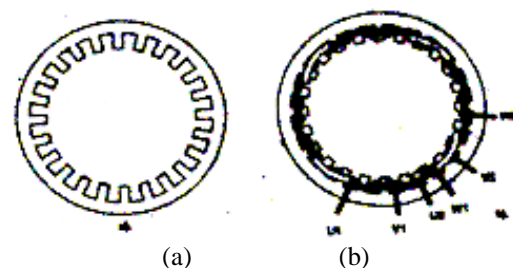
Pengoperasian dengan kecepatan variabel dapat dilakukan dengan mengontrol arus dan frekuensi yang masuk ke motor induksi. Untuk pengaturan otomatis dibutuhkan sistem *closed-loop*. Dalam *closed-loop*

kecepatan motor dibandingkan dengan kecepatan referensi yang diberikan dengan kesalahan (*error*) kemudian diubah ke kontroller, sehingga kecepatan motor induksi bisa mendekati kecepatan referensi. Strategi pengaturan kecepatan motor induksi ini yaitu menggunakan spwm inverter dan kontrol pid bermetode hibrid volt/herzt konstan-sensor arus [2].

## II. TEORI DASAR

Motor induksi adalah jenis motor penggerak yang paling banyak digunakan di dalam industri karena mempunyai banyak keunggulan Hal ini dikarenakan motor induksi perawatannya lebih mudah, konstruksinya kuat, harganya lebih murah dibandingkan motor jenis lain dengan daya yang sama, ukurannya lebih kecil dibanding motor jenis lain [3].

Stator merupakan bagian yang tidak berputar yang terdiri dari kumpulan stator dan inti kumpulan stator merupakan kumpulan medan. Kumparan tersebut ditempatkan pada alur-alur dan pada inti stator yang terbuat dari besi berlaminasi, seperti pada Gambar 1.



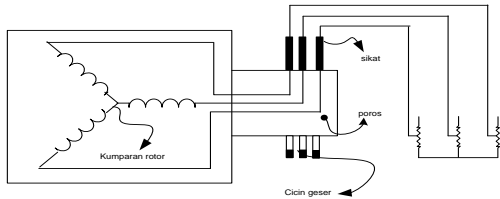
Gambar 1. Stator dari Motor Induksi :a) Penampang Inti Stator. b) Kumparan Stator.

Rotor merupakan bagian yang berputar. Pada rotor terdapat kumpulan rotor dan inti. Ada dua macam rotor yang berdasarkan bentuknya :

### 1. Rotor belitan

Kumparan rotor terdiri dari belitan-belitan yang dililitkan pada alur-alur motor sama seperti pada kumpulan stator seperti pada Gambar 2. Kumparan rotor memiliki jumlah kutub yang sama dengan kutub stator [4].

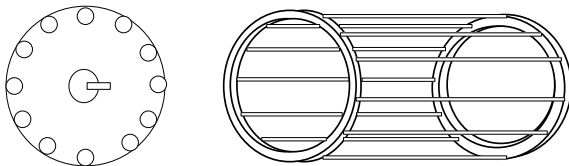
## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus



Gambar 2. Kumpanan Rotor dan Tahanan Luar Motor Induksi.

### 2. Rotor sangkar

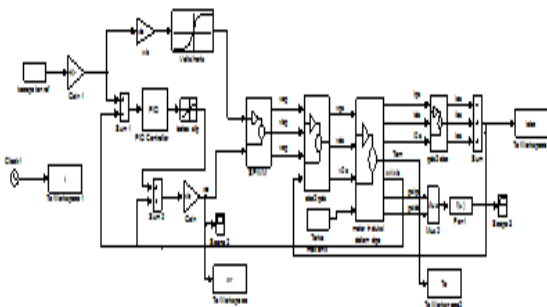
Padarotor sangkar, kumpanan rotor terdiri dari batang-batang konduktor yang terbuat dari tembaga atau aluminium, yang ujung-ujungnya dihubungkan singkat oleh cincin-cincin seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tempat Kumpanan dan Batang Konduktor Motor Induksi Tipe Rotor Sangkar.

### III. METODE PENELITIAN

Blok diagram dari pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa Menggunakan SPWM Inverter Dan Kontrol Pid Bermetode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. Blok diagram dari pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa Menggunakan SPWM Inverter Dan Kontrol PID Bermetode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus [5].

Sebelum mendesain model simulasi, harus ditentukan dulu batasan-batasannya, yaitu :

1. *Plant* yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa
2. Input utama pada simulasi motor induksi adalah kecepatan sudut referensi dalam rad/s.
3. Inverter yang digunakan adalah *SPWM Inverter* Keseluruhan proses yang dilakukan dalam simulasi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam perencanaan simulasi secara garis besar sebagai berikut :
  1. Membuat skema dari sistem.
  2. Membuat model simulasi berdasarkan model matematik dan parameter-parameter motor induksi.

Mendapatkan respon *close loop* dari motor induksi pada beban tetap dengan kecepatan berubah-ubah.

Rangkaian stator digambarkan sepanjang sumbu-sumbu  $a_s$ ,  $b_s$ , dan  $c_s$ . Sedangkan, rangkaian rotor digambarkan sepanjang sumbu-sumbu  $a_r$ ,  $b_r$ , dan  $c_r$  sebagai berikut :

$$\bar{V}_{abc_s} = r_s \bar{i}_{abc_s} + p \lambda_{abc_s} \dots \dots \dots (1)$$

$$\bar{V}_{abc_r} = r_s \bar{i}_{abc_r} + p \lambda_{abc} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

$$p \lambda_{abc_s} = L_s \bar{i}_{abc_s} + L_s \bar{i}_{abc} \dots \dots \dots (3)$$

$$p \lambda_{abc_r} = L_{sr} \bar{i}_{abc_s} + L_r \bar{i}_{abc} \dots \dots \dots (4)$$

dan

$$\bar{V}_{abc_s} = [V_{as} \ V_{bs} \ V_{cs}] \dots \dots \dots (5)$$

$$\bar{i}_{abc_r} = [i_{ar} \ i_{br} \ i_{cr}]^T \dots \dots \dots (6)$$

#### a. Sistem Koordinat d-q

Dalam simulasi motor induksi digunakan persamaan-persamaan rangkaian ekivalen motor induksi dalam koordinat d-q sebagai berikut:

##### 1. Persamaan Tegangan Stator

$$f_{qds} = T(\theta) \bar{f}_{abc_s} \dots \dots \dots (7)$$

$$\bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + \frac{d}{dt} \bar{\lambda}_s + j \omega_s \bar{\lambda}_s \dots \dots \dots (8)$$

dengan

$$\bar{V}_s = v_s + j v_{qs} \dots \dots \dots (9)$$

$$\bar{I}_s = \bar{i}_{ds} + j \bar{i}_{qs} \dots \dots \dots (10)$$

$$\bar{\lambda}_s = \bar{\lambda}_{ds} + j \bar{\lambda}_{qs} \dots \dots \dots (11)$$

##### 2. Persamaan Tegangan Rotor

$$\bar{V}_r = R_r \bar{I}_r + \frac{d}{dt} \bar{\lambda}_r + j \omega_s \bar{\lambda}_s \dots \dots \dots (12)$$

dengan

$$\bar{V}_r = v_{dr} + j v_{qr} \dots \dots \dots (13)$$

$$\bar{\lambda}_r = \lambda_{dr} + j \lambda_{qr} \dots \dots \dots (14)$$

##### 3. Persamaan Torsi Elektromagnetik

Persamaan torsi elektromagnetik ( $T_e$ ) sesuai dengan Persamaan (2.20) sebagai berikut:

$$T_e = \frac{3 p M}{2 L_r} (\lambda_{rd} i_{sq} - \lambda_{rq} i_{sd}) \dots \dots \dots (15)$$

##### 4. Kecepatan Angular

Kecepatan angular motor merupakan fungsi dari torsi elektromagnetik dan torsi beban

$$\frac{j}{p} \frac{d}{dt} + K_g \omega_r = T_e - T_L \dots \dots \dots (16)$$

dengan

$K_g$  = konstanta gesekan ( $kg \cdot m^2 / dt$ )

$J$  = momen inersia ( $kg \cdot m^2$ )

$\omega_r$  = kecepatan angular rotor ( $rad / dt$ )

##### 5. Fluksi Linkage

*Fluksi linkage* didefinisikan sebagai besarnya medan putar pada kumpanan baik stator maupun rotor dengan jumlah N lilitan.

$$\bar{\lambda}_s = L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r \dots \dots \dots (17)$$

$$\bar{\lambda}_r = L_r \bar{I}_r + M \bar{I}_s \dots \dots \dots (18)$$

Dengan:

$\lambda_s$  = *fluksi linkage* pada kumpanan stator dengan N lilitan

$\lambda_r$  = *fluksi linkage* pada kumpanan rotor dengan N lilitan

## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus

- $L_s$  = induktansi diri kumparan stator (H)
- $L_r$  = induktansi diri kumparan rotor (H)
- $I_s$  = arus stator (A)
- $I_r$  = arus rotor (A)

Sebuah *look-up* tabel digunakan untuk membuat karakteristik *volt/hertz* yang diinginkan, performansi transien yang terbaik dapat ditentukan menggunakan nilai puncak dari tegangan rms dan frekuensi operasi berdasarkan persamaan berikut:

$$E_{mb} = (x_d - x_q) I_{ds} + x_{md} I_{fd} \dots \dots \dots (19)$$

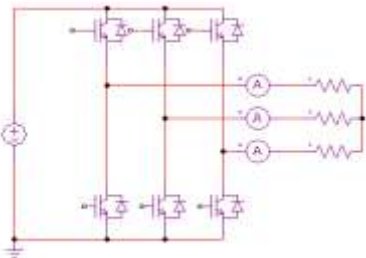
$$E_m = \frac{E_{mb}}{\omega_b} \omega_e \dots \dots \dots (20)$$

$$Z_s = r_s + j \frac{\omega_e}{\omega_b} x_q \dots \dots \dots (21)$$

$$V = | E_m + I_{rated} Z_s | \dots \dots \dots (22)$$

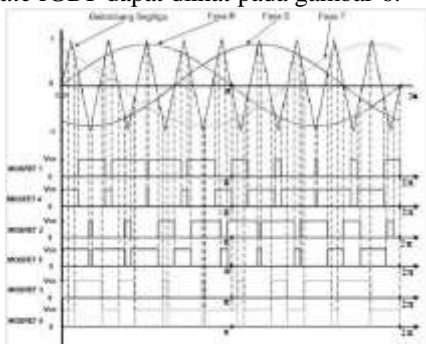
$$f = \frac{\omega_e}{2\pi} \dots \dots \dots (23)$$

SPWM adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan sudut penyalan dengan cara membandingkan gelombang segitiga dengan 3 gelombang sinus (fasa R, fasa S, dan fasa T) yang masing-masing berbeda fasa  $120^\circ$  yang digunakan untuk sudut penyalan pada inverter tiga fasa. Konfigurasi SPWM inverter dapat dilihat pada gambar dibawah, terlihat tiap *IGBT* dihubungkan secara anti paralel dengan sebuah dioda. Fungsi dari dioda adalah "*Free Wheeling Dioda*" yaitu untuk melepas energi yang tersimpan dalam induktansi dari beban saat terjadi *switcing*.



Gambar 5. Konfigurasi Rangkaian SPWM Inverter.

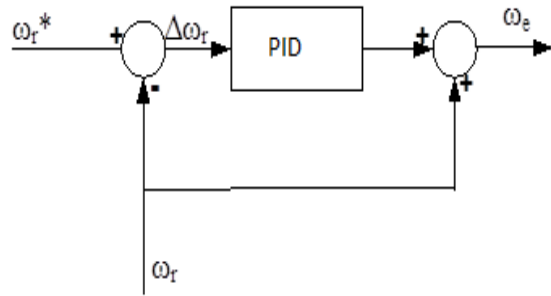
Bentuk gelombang keluaran dari SPWM Inverter sama dengan gelombang penyalan yang diberikan pada *gate IGBT* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Gelombang SPWM

b. Model Kontroller Kecepatan

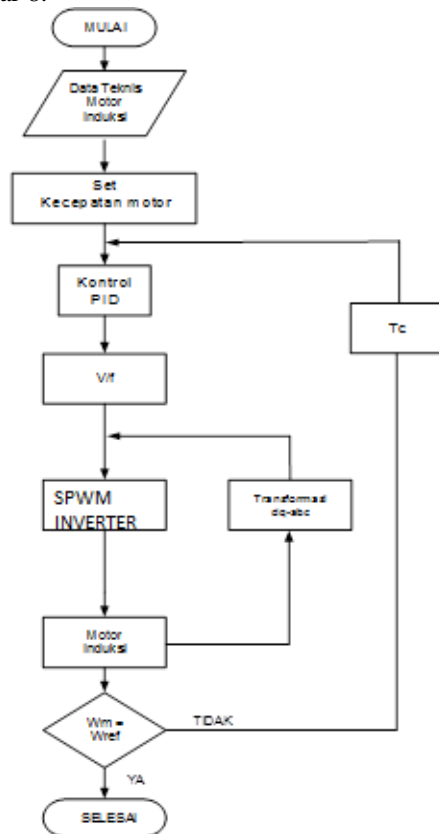
Diagram blok kontroller kecepatan dapat dilihat pada Gambar 7. di bawah ini :



Gambar 7. Diagram Blok Kontroller Kecepatan

Pada kontrol kecepatan ini  $\omega_r$  dibandingkan dengan  $\omega_r^*$  dan menghasilkan *error*  $\Delta\omega$ , PID berfungsi untuk menurunkan *overshoot* dan mempercepat keadaan *steady-state*. Jika nilai *error* sama dengan nol, maka  $\omega_r$  sama dengan  $\omega_e$ .

Pengontrolan motor induksi menggunakan PID *controller* berdasarkan sinyal *error* oleh perubahan tegangan dan frekuensi. Sinyal ini diolah oleh PID *controller* sehingga menghasilkan sinyal kontrol yang mempunyai *overshot* yang tidak terlalu besar dan pencapaian keadaan mantap tidak terlalu lama. *Flowchart* implementasi sistem dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Flowchart Implementasi Sistem

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Melakukan simulasi berarti melukan penuruan dari keadaan sebenarnya dari suatu sistem. Hasil simulasi dari keadaan sebenarnya melalui penuruan suatu sistem yang dianalisa akan menimbulkan satu perbandingan dengan menggunakan model matematik.

## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus

Dalam penelitian motor induksi tiga fasa menggunakan model matematik dengan harapan memiliki kemiripan dinamik dengan plant yang sesungguhnya.

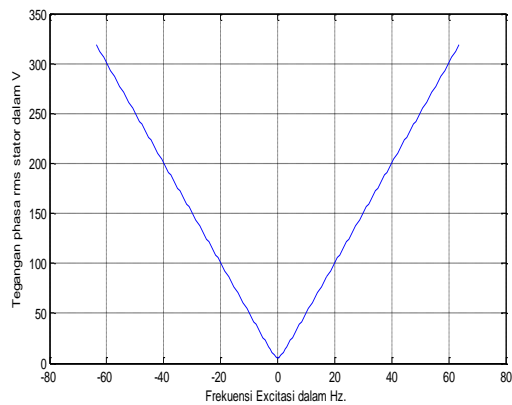
Untuk menganalisa pada penelitian motor induksi kecepatan referensinya dibuat bervariasi dari 100 rad/s sampai 200 rd/s dengan parameter motor induksi tiga fasa dapat dilihat pada tabel 4.1 sedangkan parameter kontrol PID adalah  $K_p = 1$ ,  $K_i = 0,5$  dan  $K_d = 0,00001$

Tabel 1. Parameter Motor Induksi

Parameter Motor Induksi	
Daya	20 hp
$V_{line-line\ rms}$	220 Volt
Frekuensi	60 Hz
Faktor Daya	0,835
Kecepatan	1748 rpm
Reaktansi bocor stator ( $x_{ls}$ )	0,2145 ohm
Reaktansi bocor rotor ( $x_{lr}$ )	0,2145 ohm
Tahanan stator ( $r_s$ )	0,1062 Ohm
Reaktansi magnetik stator ( $x_m$ )	5,8339 Ohm
Tahanan rotot ( $r_{pr}$ )	0,0764 Ohm
Momen enersi (J)	2,8 kg m2
Koefisien damping (Domega)	0 %

Model simulasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa Menggunakan SPWM Inverter Dan Kontrol PID Bermetode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus dapat dilihat pada gambar 9.

Pada performansi transien yang terbaik untuk karakteristiknya volt/hertz ditentukan menggunakan nilai puncak dari tegangan rms dan frekuensi untuk mendapat nilai konstan seperti terlihat pada gambar dibawah.



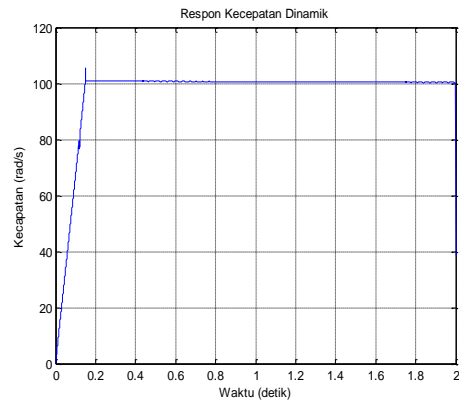
Gambar 9. Kurva Volt/Herzt

Dan untuk menentukan nilai konstanta dari gambar kurva volt/hertz maka nilai-nilai frekuensi eksitasi dalam hertz dibagi dengan nilai-nilai pada tegangan phasa rms stator dimana bila frekuensi eksitasinya adalah 20 Hz maka nilai tegangan fasa rmsnya adalah 100 Volt.

Pada hasil simulasi pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa sebagai yang diset dari 100 rad/det, 140 rad/det dan 200 rad/det sebagai berikut:

### 1. Set Point 100 rad/det

#### a. Respon Kecepatan



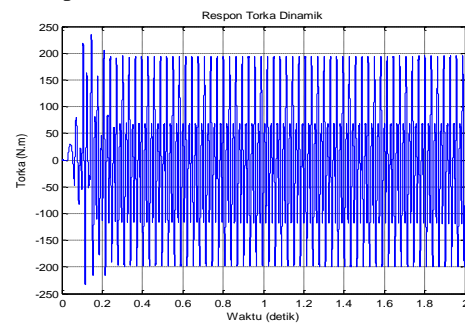
Gambar 10. Respon Kecepatan dengan Set Point 100 rad/det

Pada Tabel 2 terlihat bahwa respon kecepatan dinamik dengan set point 100 rad/det dengan riset time 0,002 s, *maximum overshoot* 5,4 % dan set time 0,1518 s

Tabel 2. Parameter Simulasi Respon Kecepatan dengan Set Point 100 rad/det.

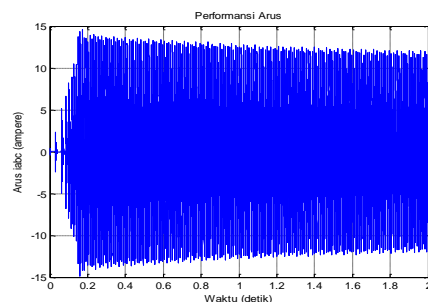
Parameter Simulasi Respon Kecepatan Dinamik 100 rad/det	
Kecepatan (rad/s)	100
Rise time (s)	0,002
Max. overshoot (%)	5.4
Settling time (s)	0,1518

#### a. Respon Torka



Gambar 11. Respon Torka Dinamik dengan Set Point 100 rad/det

#### b. Performansi Arus



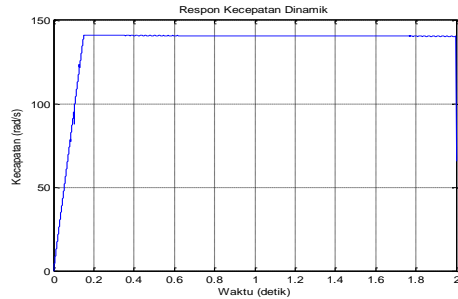
Gambar 12. Performansi Arus dengan Set Point 100 rad/det

## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa respon torka dengan set point 100 rad/det berisolasi dengan nilai  $\pm 75$  Nm, sedangkan pada Gambar 12 performansi arus lebih baik, karena osilasi sebelum steady state kecil.

### 2. Set Point 140 rad/det

#### a. Respon Kecepatan



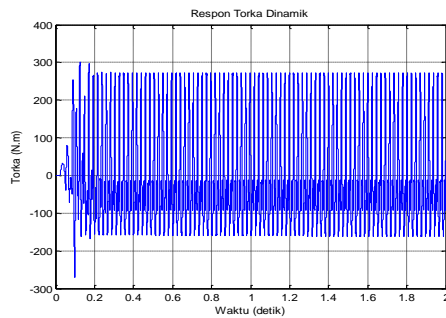
Gambar 13. Respon Kecepatan Dinamik dengan Set Point 140 rad/det

Tabel 3. Parameter Simulasi kecepatan dengan set point 140 rad/det

Parameter Simulasi Respon Kecepatan Dinamik 140 rad/det	
Kecepatan (rad/s)	140
Rise time (s)	0,00116
Max. overshoot (%)	1.25
Settling time (s)	0,1464

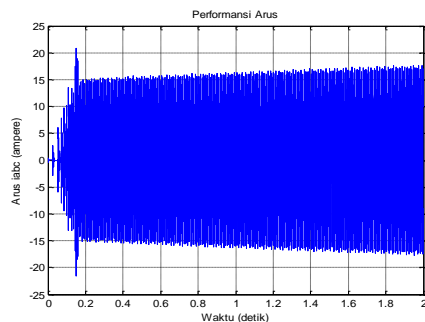
Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa respon kecepatan dengan set point 140 rad/det dengan *rise time* 0,00116 s, max overshoot 1.25 % dan settling time 0,1464.

#### b. Respon Torka



Gambar 14. Respon Torka Dinamik dengan Set point 140 rad/det

#### c. Performansi Arus



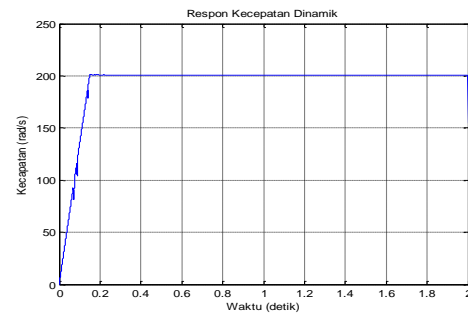
Gambar 15. Performansi Arus dengan Set Point 140 rad/det

Berdasarkan Gambar 14 terlihat bahwa respon torka  $\pm 90$  Nm dengan set point 140 rad/det sedangkan

pada Gambar 15 terlihat performansi arus lebih baik dibandingkan set point sebelumnya.

### 3. Set Point 200 rad/det

#### a. Respon Kecepatan



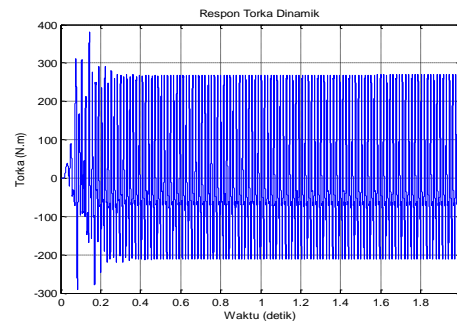
Gambar 16. Respon Kecepatan dengan Set Point 200 rad/det

Tabel 4. Parameter Simulasi kecepatan dengan 200 rad/det

Parameter Simulasi Respon Kecepatan Dinamik 200 rad/det	
Kecepatan (rad/s)	200
Rise time (s)	0,006
Max. overshoot (%)	0.875
Settling time (s)	0,15

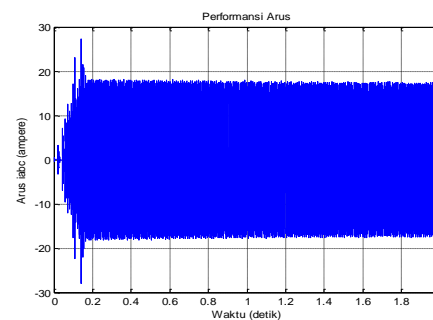
Pada Tabel 4 terlihat bahwa respon kecepatan dinamik dengan set point 200 rad/det dengan *rise time* 0,006 s, *maximum overshoot* 0,875 % dan settling time 0,15 s.

#### b. Respon Torka



Gambar 17. Respon Torka Dinamik dengan Set Point 200 rad/det

#### c. Performansi Arus



Gambar 18. Performansi Arus dengan Set Point 200 rad/det

Berdasarkan Gambar 17 terlihat bahwa respon torka  $\pm 100$  Nm dengan set point 200rad/det

## Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Spwm Inverter dan Kontrol Pid dengan Metode Hibrid Volt/Herzt Konstan-Sensor Arus

sedangkan pada Gambar 18 terlihat performansi arus lebih baik dibandingkan set point sebelumnya.

### V. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa simulasi yang dibuat dijalankan menggunakan dua tahapan yaitu menggunakan Mfile dan membuat model simulink, ini dilakukan untuk mempermudah penerapan kontroler PID. Peformansi kecepatan, torka, dan arus dari set poin 100 rad/detik, 140 rad/detik, dan 200 rad/detik yaitu respon kecepatan mempunyai nilai *rise time* berturut-turut 0,002 detik, 0,00116 detik, dan 0,006 detik, maksimum *overshoot* berturut-turut 5,4%, 1,25%, dan 0,875% serta *settling time* berturu-turut 0,1518 detik, 0,1464 detik, dan 0,15 detik. Respon torkanya nilai antara berturut-turut 75 Nm, 90 Nm, dan 100 Nm. Performansi arus berisolasi sangat kecil

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harfina, D. M., & Zaini, Z. (2020). Sistem Pengendali Motor Induksi pada Belt Conveyor dengan Teknik Vektor Kontrol pada VFD menggunakan MATLAB/Simulink. JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), 6(1), 13-24.
- [2] Saputro, S. A., & Sunanda, W. (2020, November). Energy needs in dynamic braking on Dahlander motor. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 599, No. 1, p. 012007). IOP Publishing
- [3] NICO, F., Eddy, S., & Yani, R. (2021). PERANCANGAN ALAT PENGONTROLAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS MIKROKONTROLLER (Doctoral dissertation, Universitas Bung Hatta).
- [4] Arvianto, F., & Rameli, M. (2017). Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Metode Flux Vector Control Berbasis Self-Tuning PI. Jurnal Teknik ITS, 6(2), F202-F207.
- [5] Wildan, F. M., Hakim, E. A., & Suhardi, D. (2016). Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm. KINETIK, 1(1), 23-32.