

MENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) DENGAN FIELD ORIENTED CONTROL (FOC)

Abdul Muis Prasetya¹, Linda Sartika², Mukhlis³

^{1,2,3}Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara Indonesia

¹prasetia.electric@gmail.com

²lindasartika75@gmail.com

³mukhlisnur14@gmail.com

Abstract— The industry in Indonesia is experiencing rapid growth, both in large and small sectors. A substantial portion of industrial machinery relies on electric power as its primary driving force, with the three-phase induction motor being one of the most commonly utilized components due to its affordability and high reliability. However, despite its advantages, the three-phase induction motor exhibits certain drawbacks, notably a decrease in speed as the load increases, which hinders its ability to maintain a consistent speed under varying load conditions. To mitigate this issue and ensure constant speed along with improved system performance in the face of load fluctuations, the implementation of a controller becomes essential. Sliding Mode Control (SMC) is one such approach, capable of compensating for parameter variations in the induction motor caused by changes in load. Additionally, Field Oriented Control (FOC) facilitates the independent regulation of the gain current and motor load current, thereby allowing for separate control of flux and torque. Based on the results of simulation and analysis, it was found that SMC with field oriented control is well used for speed regulation of three-phase induction motors.

Keywords— Field Oriented Control (FOC), Sliding Mode Control (SMC), Three Phase Induction Motor.

Intisari—Industri di Indonesia sedang berkembang pesat, baik di sektor besar maupun kecil. Seiring dengan pertumbuhan ini, diperlukan peralatan produksi yang efektif guna meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Motor induksi tiga fasa sering digunakan dalam industri karena harganya yang relatif terjangkau dan memiliki keandalan yang tinggi. Namun, disisi lain kelemahannya adalah kecepatan motor induksi tiga fasa yang menurun seiring dengan adanya peningkatan beban. Hal tersebut berdampak pada hilangnya kecepatan konstan motor saat kondisi beban yang bervariasi. Maka, diperlukan suatu pengontrol guna menjaga kecepatan tetap stabil dan meningkatkan performa sistem dalam menghadapi perubahan beban. Untuk mengatasi masalah tersebut Sliding Mode Control (SMC) digunakan guna mengatasi perubahan parameter akibat beban yang fluktuatif. Field Oriented Control (FOC) digunakan guna mengendalikan secara terpisah arus beban motor dan arus penguatan, sehingga fluks dan torsi dapat diatur secara independen. Berdasarkan hasil simulasi dan analisa didapatkan bahwa SMC dengan field oriented control baik digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.

Kata Kunci—Field Oriented Control (FOC), Motor Induksi Tiga Fasa, Sliding Mode Control (SMC).

I. PENDAHULUAN

Industri di Indonesia sedang berkembang pesat baik pada sektor industri besar hingga kecil. Seiring dengan perkembangan tersebut, kebutuhan akan peralatan yang handal menjadi krusial guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi. Mayoritas peralatan industri mengandalkan tenaga listrik sebagai sumber daya utama, dengan motor listrik sebagai salah satu komponen utamanya. Bila dibandingkan dengan motor DC motor induksi saat ini menjadi pilihan paling umum karena konstruksinya yang sederhana, harga yang relatif terjangkau, bobot yang ringan, efisiensi tinggi, serta kemudahan dalam perawatan. Namun, pengaturan kecepatan dan torsi pada motor induksi tidaklah mudah, sehingga diperlukan teknologi yang tepat untuk menjaga kestabilan putaran motor tersebut [1].

Motor listrik arus AC atau yang sering dikenal dengan motor induksi sangat populer di gunakan baik di bidang perindustrian maupun rumah tangga. Jenis motor induksi yang sering dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan satu fasa. Motor induksi tiga fasa banyak diaplikasikan di sektor industri karena harganya yang relatif terjangkau dan keandalannya yang tinggi [2]. Namun, motor ini memiliki kelemahan yaitu beberapa parameter karakternya bersifat tidak linier, sehingga kecepatan tidak dapat dijaga tetap konstan saat beban mengalami perubahan. Oleh karena itu, diperlukan pengontrol untuk mempertahankan kecepatan yang stabil dan meningkatkan performa sistem saat beban berubah [3].

Sliding Mode Control adalah metode kendali umpan balik dengan pensaklaran frekuensi tinggi yang memiliki kekokohan, sehingga diharapkan mampu mengatasi masalah perubahan parameter pada motor induksi akibat pembebanan. Perubahan parameter ini dapat menyebabkan perbedaan respon yang sangat kontras. Namun, kekurangan dari metode kendali Sliding Mode Control (SMC) adalah munculnya fenomena *chattering*, yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem kendali [4], [5].

Keterbatasan motor arus bolak-balik dalam hal pengontrolan dapat diatasi melalui dua pendekatan, yakni metode pengaturan skalar dan pengaturan vektor [6], [7]. Pengaturan skalar bekerja dalam keadaan *steady state* dan memerlukan pengaturan kecepatan sudut arus, tegangan, serta fluks linkage dalam ruang vektor. Namun, metode ini tidak efektif saat motor berada dalam kondisi *transient*

state. Untuk mengatasi masalah ini, pengaturan vektor digunakan, karena metode ini dapat bekerja dalam kondisi *transient state* dan tidak hanya mengontrol kecepatan sudut dan magnitudo, tetapi juga arus, tegangan, dan fluks. Salah satu metode pengaturan vektor yang banyak digunakan adalah FOC (*Field Oriented Control*). FOC menawarkan kinerja tinggi serta efisiensi yang optimal dalam berbagai aplikasi industri [6]. Sehingga, diharapkan dapat mengatasi permasalahan perubahan parameter yang terjadi.

Motor induksi tiga fasa memiliki proses kerja yang cukup kompleks, hal ini akibat kumparan rotor yang berputar relatif terhadap kumparan stator, yang masing-masing terdiri dari tiga fasa. Variabel-variabel seperti arus, tegangan, dan fluks linkage terus berubah seiring dengan waktu. Untuk mempermudah analisis motor induksi tiga fasa ini, sistem koordinat tiga fasa ($a - b - c$) dapat diubah menjadi sistem koordinat rotasi dua fasa ($d - q$), yang dikenal sebagai transformasi vektor [8].

II. LANDASAN TEORI

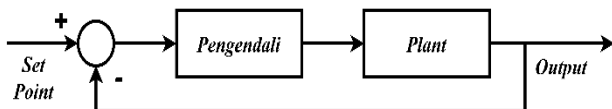
A. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah salah satu jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran yang memiliki slip antara medan stator dan rotor dengan sumber tegangan tiga fasa [9]. Arus pada rotor motor ini tidak berasal dari sumber listrik eksternal, melainkan diinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar [10].

Motor induksi tiga fasa adalah motor arus AC yang paling umum digunakan dalam berbagai proses industri. Penggunaannya yang luas didasarkan pada konstruksinya yang sederhana dan tangguh. Motor induksi tiga fasa menawarkan fleksibilitas, salah satunya adalah kemampuan untuk membalik arah putaran sesuai kebutuhan. Konstruksinya mirip dengan motor listrik lainnya, dengan dua komponen utama: stator yang tetap diam dan rotor yang berputar.

B. Sliding Mode Control (SMC)

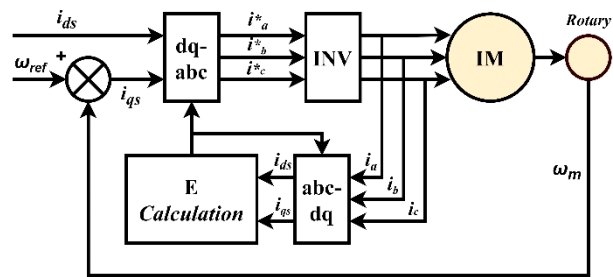
SMC (*Sliding Mode Control*) merupakan salah satu teknik kendali yang dikenal karena ketahanannya terhadap gangguan dan perubahan parameter. Namun, kekurangannya adalah munculnya fenomena *chattering*, yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem kendali. SMC dirancang agar mampu menjaga kecepatan motor induksi tetap stabil sesuai referensi. Adapun Skema kontrol dari sistme ini adalah dengan memaksa vektor *error* dan delta *error (trayektory)* bergerak menuju permukaan lancar. Namun, penggunaan sistem ini dapat menimbulkan *chattering* yang berdampak negatif pada respon sistem, sehingga fenomena ini perlu dikurangi [4]. Gambar 1 merupakan blok diagram dari *sliding model control* (SMC).



Gambar 1. Blok diagram *sliding mode control*

C. Field Oriented Control (FOC)

FOC (*Field-Oriented Control*) merupakan metode yang bekerja dengan sistem *decoupling* guna mengatur kumparan medan pada motor induksi [11]. Dengan metode ini, arus jangkar dan arus medan pada motor dapat dikendalikan secara terpisah begitu pula dengan torsi dan fluks. Dalam penerapan FOC, kecepatan motor dipantau menggunakan sensor atau *tachometer*. Kecepatan referensi akan dibandingkan dengan kecepatan motor yang terdeteksi. Jika terdapat perbedaan, *error* tersebut dihitung oleh kontrol PI, yang kemudian mengirimkan sinyal ke sistem FOC. Sistem FOC kemudian mengirimkan sinyal ke rangkaian penyalan inverter untuk menyesuaikan tegangan dan arus rotor, sehingga menghasilkan torsi yang diinginkan. Kecepatan motor berubah menjadi lebih mendekati kecepatan referensi akibat proses perubahan torsi yang terjadi [12]. Gambar 2 merupakan blok diagram dari FOC.



Gambar 2. Blok diagram *field oriented control*

FOC (*Field-Oriented Control*) adalah metode pengendalian motor induksi yang meniru kontrol motor DC dengan memisahkan pengaturan arus penguat dan arus beban motor, sehingga fluks dan torsi dapat diatur secara terpisah. Metode ini melibatkan transformasi ($d-q$) dan memungkinkan pencapaian respons torsi yang cepat [4], [8].

D. Transformasi Vektor

Motor induksi tiga fasa dalam kondisi dinamis adalah sistem yang cukup rumit karena kumparan rotor berputar relatif terhadap kumparan stator, dengan masing-masing bagian terdiri dari tiga fasa di mana variabel-variabel seperti arus, tegangan, dan *fluks linkage* berubah seiring waktu. Untuk mempermudah analisis motor induksi tiga fasa, sistem koordinat tiga fasa ($a - b - c$) dapat direpresentasikan dalam sistem koordinat rotasi dua fasa ($d - q$), yang dikenal sebagai transformasi vektor [4], [8]. Transformasi ini dilakukan dalam dua tahap yaitu:

1. Transformasi Clark

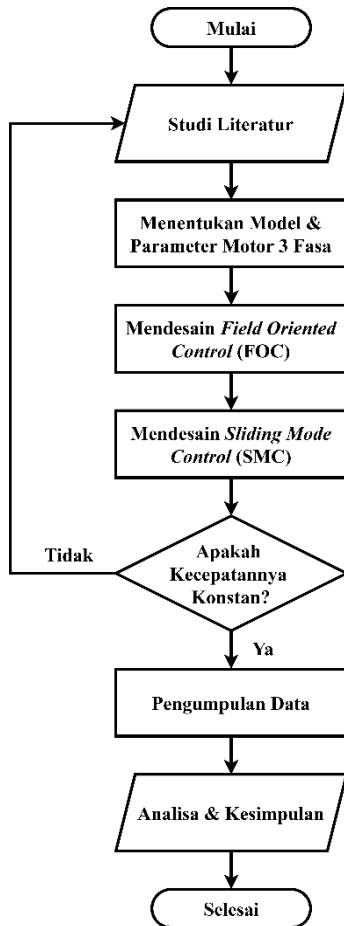
Transformasi Clark adalah proses mengubah sistem koordinat tiga fasa yang stasioner menjadi sistem koordinat dua fasa yang dikenal sebagai sistem koordinat ($\alpha - \beta$). Ini melibatkan perubahan dari sistem koordinat tiga fasa ($a - b - c$) ke dalam sistem koordinat dua fasa ($d - q$) [4], [8].

2. Transformasi Park

Transformasi Park adalah metode untuk mengubah sistem koordinat ($\alpha - \beta$) menjadi sistem koordinat ($d - q$). Proses ini mengkonversi sistem koordinat ($\alpha - \beta$) ke dalam sistem koordinat rotasi ($d - q$) [4], [8].

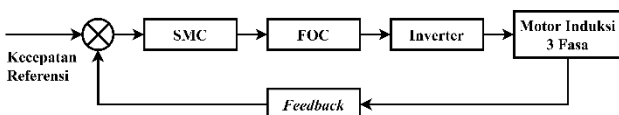
III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini di laksanakan di LAB. Konversi Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan *software* simulasi, lama dari penelitian dilaksanakan dalam waktu kurang lebih 6 bulan adapun Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Laptop untuk menjalankan *software* yang digunakan. Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan seperti pada *flowchart* yang tertampil pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart* penelitian

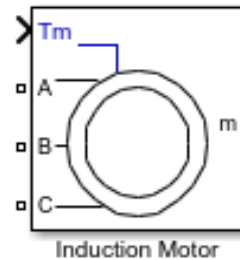
Pada diagram blok yang ditampilkan pada Gambar 4. kecepatan motor induksi diumpkan balik kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi. Apabila terdapat *error*, *error* tersebut menjadi input SMC sebagai *control* utama, selanjutnya SMC memberikan sinyal kepada sistem FOC dimana keluaran FOC yaitu (i_{abc}^*) yang kemudian diubah ke dalam sinyal PWM oleh inverter. Inverter mengubah tegangan dan arus dari, sehingga di peroleh torsi yang diinginkan sehingga kecepatan motor mendekati kecepatan referensi,



Gambar 4. Blok Diagram

A. Model Motor Induksi Tiga Fasa

Model motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah sangkar tupai (*squirrel cage*). Keluaran motor yang didapatkan berupa kecepatan torsi, arus tiga fasa, torsi elektromagnetik, dan theta. Model motor induksi tiga fasa ditampilkan pada Gambar 5 dan parameter motor induksi tiga fasa ditampilkan pada Tabel 1.



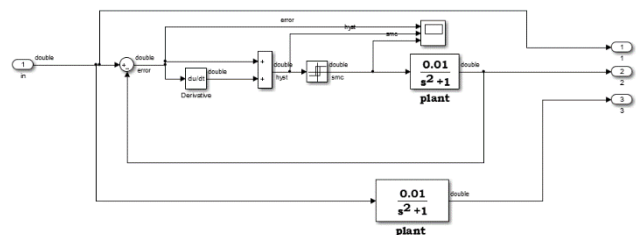
Gambar 5. Model motor induksi tiga fasa

Tabel I
Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

No	Nama	Satuan	Nilai
1	Tegangan Sumber (V_{L-L})	V _{AC}	460
2	Frekuensi (F)	Hz	50
3	Tahanan Stator (R_s)	Ohm	2.76
4	Tahanan Rotor (R_r)	Ohm	3.11
5	Induktansi Stator (L_s)	mH	11.8e-3
6	Induktansi Rotor (L_r)	mH	11.8e-3
7	Induktansi Mutual (L_m)	mH	188.2e-3
8	Jumlah Pole	-	2
9	Inersia Rotor (J_r)	Kg.m ²	0.3
10	Tenaga Motor	KW	50

B. Kontrol SMC

SMC (*Sliding Mode Control*) bertujuan untuk mengarahkan *trajektori state* dari *error* menuju sebuah permukaan yang ditentukan oleh perancang (*sliding surface*) dan menjaga agar *trajektori error* tetap berada pada permukaan tersebut, sehingga sesuai dengan permukaan yang diharapkan. Kontrol ini terdiri dari dua tahap yakni tahap pertama berfungsi untuk memperbaiki sinyal kesalahan dengan mengarahkan sinyal tersebut ke *sliding surface*, dan tahap kedua bertujuan untuk mempertahankan sinyal pada *sliding surface*. Adapun blok simulasi *sliding mode control* ditampilkan pada Gambar 6.

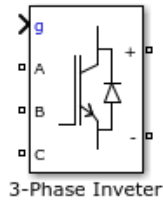


Gambar 6. Blok simulasi SMC

C. Inverter

Inverter merupakan rangkaian flip-flop yang mengkonversi listrik DC ke AC dengan tegangan dan frekuensi yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Pengaturan tegangan pada inverter umumnya dilakukan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*).

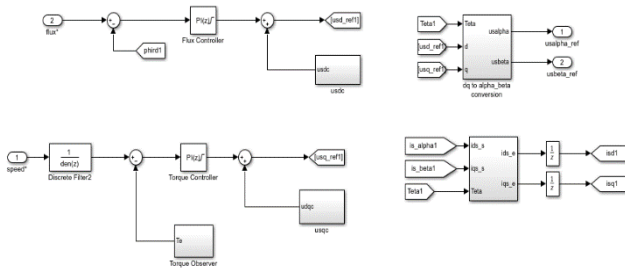
Biasanya, inverter memiliki tegangan output yang berubah seiring dengan perubahan beban, namun dengan menggunakan metode PWM perubahan ini dapat dikendalikan lebih baik untuk mempertahankan tegangan output yang stabil. Inverter yang digunakan adalah inverter tiga fasa yang dilengkapi dengan komponen *switching* berupa IGBT. Nilai *snubber* yang digunakan memiliki *resistance* (Rs) sebesar 1e-5 ohm dan *snubber capacitance* (Cs) sebesar 1e-6 dengan tujuan mendapatkan *snubber* yang bersifat resistif. *Internal resistance devais* yang dipilih untuk IGBT (Ron) adalah sebesar 1e-3 ohm dan *forward voltage device* V_f 1.1 volt sedangkan untuk *diode* V_{df} 0.75 volt. Model inverter ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model inverter

D. Vector Control

Dalam pemodelan pengaturan vektor ini, terdapat koneksi antara pengaturan vektor tegangan dan PWM, yang berfungsi untuk mengatur amplitudo serta frekuensi pada inverter. Proses ini mengontrol aktifnya IGBT di dalam inverter, sehingga frekuensi yang diinginkan dapat diperoleh untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa. Gambar 8. memperlihatkan pengaturan vektor yang digunakan untuk menyatel rangkaian pengontrol vektor tersebut..



Gambar 8. Rangkaian vector control.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Respon Kecepatan Motor Secara Open Loop

Gambar 9 menampilkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Berdasarkan gambar yang tertampil didapatkan hasil respon *steady state* sebesar 1496 rpm, *rise time* 0,10663s, *settling time* 0,625 dan *error steady state* 0,0026 %. Untuk mengetahui *error steady state* Langkah awal yang harus dilakukan yakni dengan melakukan perhitungan kecepatan medan putar stator. Adapun perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ rpm} \tag{1}$$

Setelah memperoleh kecepatan medan putar, maka dapat dilakukan perhitungan *rise time*. Rentang waktu yang di ukur pada *rise time* mulai dari respon 10% sampai

dengan 90% dari respon *steady state*. Untuk menghitung *rise time* ini dapat dilakukan menggunakan persamaan (2) dan (3) Dimana *steady state* yang diperoleh berdasarkan hasil simulasi yakni 2992 rpm.

$$t_{10\%} = 2992 \times 10\% = 299,2 \text{ rpm} \rightarrow 0,07256 \text{ s} \tag{2}$$

$$t_{90\%} = 2992 \times 90\% = 2692,8 \text{ rpm} \rightarrow 0,56225 \text{ s}$$

$$t_{90\%} - t_{10\%} = 0,56225 \text{ s} - 0,07256 \text{ s} = 0,48969 \text{ s} \tag{3}$$

Selain menghitung *rise time*, dilakukan pula perhitungan *settling time*. Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5%, 2% atau 0,5% dari respon *steady state*. Adapun perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan persamaan (4).

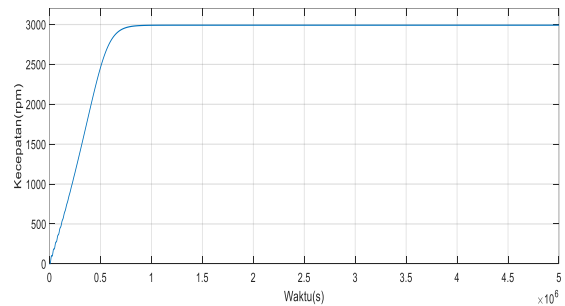
$$t_s(5\%) = 2992 \text{ rpm} - (2992 \text{ rpm} \times \frac{5}{100}) \tag{4}$$

$$2992 \text{ rpm} - 149,6 \text{ rpm} = 2842,4 \text{ rpm} \rightarrow 0,624881 \text{ s}$$

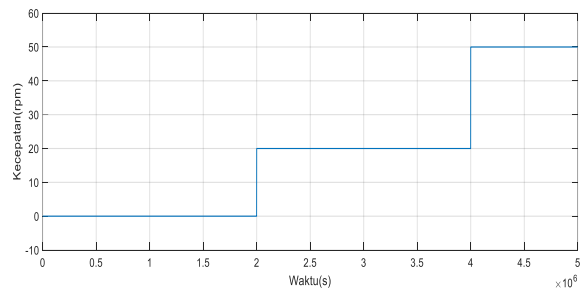
Error steady state merupakan perbedaan jarak antara posisi beban berhenti dengan posisi set point yang telah ditentukan. Untuk melakukan perhitungan *Error steady state* dapat menggunakan persamaan (5).

$$ess = \frac{3000 \text{ rpm} - 2992 \text{ rpm}}{2992 \text{ rpm}} \times 100\% = 0,26\% \tag{5}$$

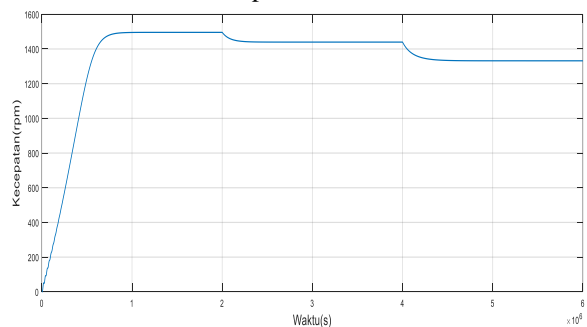
B. Uji Respon Kecepatan Motor Berbeban



Gambar 9. Respon kecepatan motor secara open loop



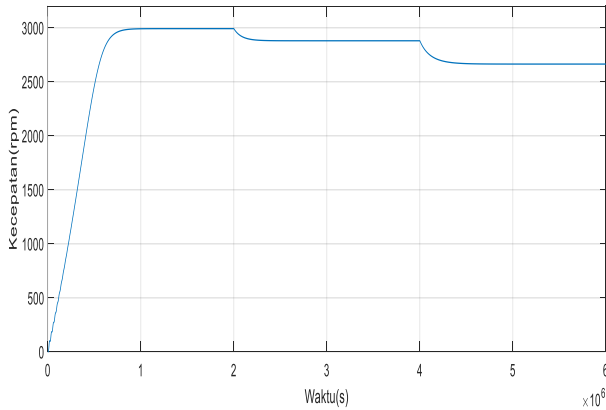
Gambar 10. Respon torsi motor berbeban



Gambar 11. Respon motor dengan beban

Gambar 10. merupakan hasil respon torsi beban dan Gambar 11. adalah respon kecepatan motor induksi tiga fasa dengan beban. Berdasarkan gambar tersebut respon kecepatan mengalami penurunan ketika diberikan beban 20 N.m pada detik ke 2 dan 40 N.m pada detik ke 4.

C. Uji Respon Kecepatan Motor Menggunakan SMC



Gambar 12. Respon kecepatan motor menggunakan SMC

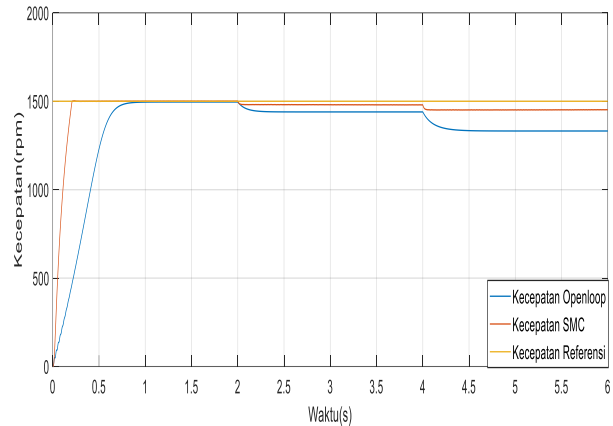
Tabel II
Respon Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Hasil respon	Steady state (rpm)	Rise time (s)	Settling time (s)	Error steady state (%)
Open loop	1496	0,489	0,624	0,26
SMC	1500	0,148	0,190	0

Gambar 12. merupakan respon kecepatan motor menggunakan SMC. Berdasarkan gambar tersebut pada kondisi kecepatan yang sama dengan kecepatan referensi 1500 rpm diperoleh *rise time* 0,1480 s, *settling time* 0,1901, dan *error steady state* sebesar 0 %. Adapun perbandingan hasil respon motor induksi tiga fasa *open loop* dengan SMC ditampilkan pada Tabel II. Berdasarkan tabel tersebut hasil respon SMC memiliki nilai terbaik dimana *error steady state* yang diperoleh yakni sebesar 0 %. Selain itu, rentang *rise time* dan *settling time* dari SMC juga lebih singkat bila dibandingkan dengan hasil respon *open loop*.

D. Uji Respon Kecepatan Menggunakan SMC Berbeban

Berdasarkan hasil simulasi motor induksi yang dilakukan menggunakan metode SMC dengan kecepatan referensi 1500 rpm didapatkan respon *steady state* sebesar 1500 rpm ketika diberi beban 20 N.m pada detik ke dua kecepatan SMC menurun dengan *steady state* 1481 rpm, *settling time* 0,1856 s, *rise time* 0,1444 s, dan *error steady state* 1,28 % dan pada saat diberi beban 50 N.m didetik keempat kecepatan mengalami penurunan lagi hingga *steady state* 1451 rpm, *settling time* 0,5168, *rise time* 0,4264, dan *error steady state* 3,37 %. Adapun kurva respon kecepatan motor ditampilkan pada Gambar 13. Selain itu, pada Tabel III ditampilkan hasil respon motor induksi tiga fasa berdasarkan variasi beban.



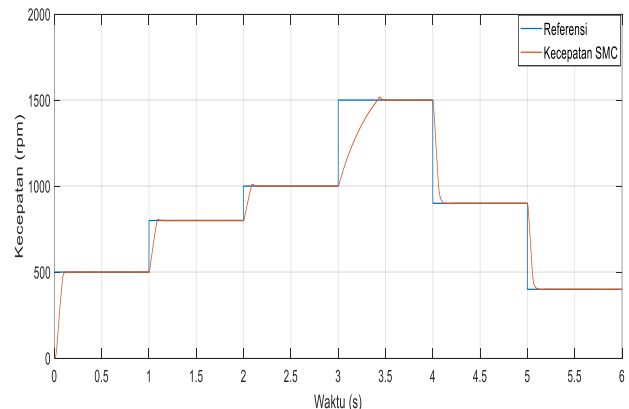
Gambar 13. Respon kecepatan dengan SMC berbeban

Tabel III
Hasil Respon Kecepatan Motor

Hasil Respon	Beban 20 N.m		Beban 50 N.m	
	Open Loop	SMC	Open Loop	SMC
Steady state	1440 rpm	1481 rpm	1332 rpm	1451 rpm
Settling time	0,577 s	0,185 s	0,516 s	0,179 s
Rise time	0,461 s	0,144 s	0,426 s	0,139 s
Error steady state	4,16 %	1,28 %	12,6 %	3,37 %

E. Uji Respon Kecepatan Referensi

Gambar 14. merupakan respon kecepatan referensi variasi motor induksi tiga fasa. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa hasil respon kecepatan SMC dapat mengikuti kecepatan referensi yang diinginkan. Pada detik nol dengan kecepatan referensi 500 rpm *steady state* nya yaitu 500 rpm, pada detik kedua kecepatan referensi 1000 rpm *steady state* nya yaitu 1000 rpm, pada detik ketiga dengan kecepatan referensi 1500 *steady state* nya yaitu 1500 rpm dan pada detik keempat kecepatan referensi 800 rpm didapatkan *steady state* nya 800 rpm untuk kecepatan referensi 400 didapatkan *steady state* nya 400.



Gambar 13. Hasil respon kecepatan referensi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Sliding Mode Control* (SMC) dengan *Field Oriented Control* (FOC) sebagai pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa mendapatkan hasil respon yang baik dengan *steady state* 1500 rpm, *rise time* 0,1480 s, dan *settling time* 0,1900 s. Hasil yang diperoleh membuktikan bahwa *sliding mode control* dengan *field oriented control* baik digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kekuatan, kesehatan, dan ketabahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua atas doa, dukungan, dan cinta kasih yang tiada henti mereka berikan yang menjadi pendorong dan motivasi terbesar dalam menyelesaikan penelitian ini. Selain itu, penulis juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat langsung maupun tidak langsung dalam proses penelitian ini, yang telah memberikan bantuan, saran, dan bimbingan sehingga artikel ilmiah ini dapat terselesaikan sesuai harapan.

Ucapan terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada dewan redaksi jurnal atas dedikasi dan waktu yang telah mereka luangkan dalam menyusun dan menyediakan *template* ini yang sangat membantu penulis dalam menyusun artikel ini dengan format yang tepat dan terstruktur. Tanpa dukungan dari berbagai pihak penelitian ini tidak akan mungkin terselesaikan dengan baik, dan untuk itu, penulis sangat berterima kasih atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan.

REFERENSI

- [1] S Evalina, Noorly, Abdul Azis, and Zulfikar Zulfikar. "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller." *JET (Journal of Electrical Technology)* 3.2 (2018): 73-80.
- [2] Ahmad, Ahmad, Elvira Zondra, and Hazra Yuvendius. "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan." *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri* 5.1 (2020): 35-43.
- [3] Muslim, Buhari. *Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler FUZZY-PID*. Diss. Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [4] Utoro, Muhammad Ridho, and Josaphat Pramudijanto. "Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa." *Jurnal Teknik ITS* 3.1 (2014): F84-F89.
- [5] Al Alim, M. Fatah. "Perancangan Sistem Kendali Autopilot pada *Unmanned Surface Vehicle* (USV) Tipe Monohull Lss01 Menggunakan Metode Pid-Based Sliding Mode Control (SMC)" Diss. Institut Technology Sepuluh Nopember, 2019.
- [6] Faizi, M. Nur, and Fadli Gustame. "Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode *Sliding Mode Control* (SMC) Berbasis Algoritma Genetika." *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*. 2021.
- [7] Ramadhani, Indah. "*Desain Direct Torque Control (Dtc) Dengan Fuzzy Mamdani-Pd untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*". Diss. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2022.
- [8] Rakhmawan, Rizqa Agung, Ibrahim Nawawi, and Agung Trihasto. "Kendali Torsi Motor Brushless Direct Current (BLDC) Menggunakan Metode Direct Torque Control (DTC)." *THETA OMEGA: JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGY* 2.2 (2021): 31-36.
- [9] Muratno, Muratno, and Misdi Misdi. "PENGUJIAN DAN ANALISIS MOTOR ASINKRON TIGA FASA PADA LABORATORIUM ELEKTRO." *JURNAL TEKNIK MESIN* 9.1 (2020): 46-57.
- [10] Suwarni, Suwarni, and Abdul Muis Prasetya. "Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan direct torque control menggunakan jaringan saraf tiruan." *JURNAL ELTEK* 20.2 (2022): 24-32.
- [11] Andriami, Sri Muntiah, et al. "PEMODELAN SISTEM FOC KENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PI CONTROLLER." *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan* 20.1 (2023): 23-34.
- [12] Irawan, Dwi R., Glanny M. Ch Mangindaan, and Lily S. Patras. "Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Field Oriented Control (FOC)." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 5.3 (2016): 80-86.