

Ahmad Amarudin Haq

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : ahmad.20024@mhs.unesa.ac.id

Puput Wanarti Rusimamto, Endryansyah, Miftahur Rohman

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id, endryansyah@unesa.ac.id, miftahurrohman@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasikan pengendalian motor tiga fasa pada kipas sentrifugal menggunakan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative). Kipas sentrifugal digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, dan pengendalian yang efektif terhadap kecepatan motor merupakan faktor penting untuk menjaga kinerja optimal sistem. Metode penelitian meliputi pemodelan matematis motor tiga fasa dan kipas sentrifugal, serta implementasi kontrol PID dalam lingkungan simulasi MATLAB/Simulink. Parameter PID ditentukan melalui metode Ziegler-Nichols dan metode *trial and error* untuk mendapatkan respons sistem yang optimal. Hasil simulasi dievaluasi berdasarkan kriteria performa seperti waktu tunda, waktu penyesuaian, *overshoot*, dan kesalahan *steady-state*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kontrol PID mampu mengendalikannya kecepatan motor tiga fasa pada kipas sentrifugal dengan baik, mencapai keseimbangan antara respons cepat dan stabilitas sistem. Parameter PID yang ditentukan melalui metode *trial and error* memberikan performa yang memadai dengan *overshoot* minimal dan waktu penyesuaian yang cepat. Pada simulasi pengujian sistem dengan tekanan penuh yaitu 800 Pascal atau sama dengan 221 Nm dengan *setpoint* kecepatan sebesar 950 RPM (*Rotation Per Minute*) parameter yang digunakan pada kontrol PID yaitu k_p 300, k_i 16,5, dan k_d 1. Menghasilkan *error steady state* = 0,67 %, *settling time* = 0,34 detik, *rise time* = 0,25 detik, dan *overshoot* = 0,01%. Kemudian pada pengujian tanpa PID dengan tekanan yang sama didapatkan *error steady state* = 4,7%, *settling time* = 0,11 detik, *rise time* = 0,03 detik, dan *overshoot* = 0,96 %.

Kata Kunci : Motor tiga fasa, kipas sentrifugal, kontrol PID, MATLAB/Simulink.

Abstract

This research aims to simulate the control of a three-phase motor on a centrifugal fan using PID (Proportional-Integral-Derivative) control. Centrifugal fans are widely used in a variety of industrial applications, and effective control of motor speed is an important factor in maintaining optimal system performance. Research methods include mathematical modeling of three-phase motors and centrifugal fans, as well as implementation of PID control in the MATLAB/Simulink simulation environment. PID parameters are determined using the Ziegler-Nichols method and trial and error method to obtain optimal system response. Simulation results are evaluated based on performance criteria such as delay time, adjustment time, overshoot, and steady-state error. The research results show that PID control is able to control the three-phase motor speed of a centrifugal fan well, achieving a balance between fast response and system stability. PID parameters determined through the trial and error method provide adequate performance with minimal overshoot and fast adjustment times. In the system test simulation with full pressure, namely 800 Pascal or equal to 221 Nm with a speed setpoint of 950 RPM (Rotation Per Minute), the parameters used in PID control are k_p 300, k_i 16.5, and k_d 1. Produces steady state error = 0.67%, settling time = 0.34 seconds, rise time = 0.25 seconds, and overshoot = 0.01%. Then in testing without PID with the same pressure, the steady state error = 4.7%, settling time = 0.11 seconds, rise time = 0.03 seconds, and overshoot = 0.96%.

Keywords : Three phase motor, centrifugal fan, PID control, MATLAB/Simulink.

PENDAHULUAN

Perkembangan Perindustrian di dunia berjalan bersamaan dengan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pertumbuhan jumlah penduduk mendorong serangkaian reformasi di sektor industri, sehingga proses produksi yang masih menggunakan alat manual sekarang banyak alat yang otomatis menggunakan mesin. Menurut data Kementerian Perindustrian

(Kemenperin), pertumbuhan sektor industri Indonesia mencapai 19,87% pada tahun 2020.

Motor induksi tiga fasa adalah contoh merupakan pembaruan di dunia industri. Motor induksi adalah suatu mesin Listrik yang berperan yang didasarkan arus induksi guna mengubah energi Listrik menjadi energi gerak. Motor induksi tiga fasa sering dimanfaatkan akan mengalami penurunan torsi dan efisiensi sehingga

dapat mempengaruhi kinerja dari motor tersebut . (M. A. Alam, 2022).

Kipas sentrifugal merupakan peralatan industri menggunakan aliran udara dan tekanan konstan. Pada kecepatan tetap, kurva teoritis antara aliran dan tekanan dari kipas sentrifugal seharusnya berbentuk garis lurus. Namun, karena adanya kerugian internal, kurva karakteristik sebenarnya menjadi melengkung. Tekanan yang dihasilkan oleh kipas sentrifugal sangat dipengaruhi oleh perubahan suhu atau densitas udara masuk. Untuk volume udara masuk tertentu, suhu angin lebih tinggi (densitas angin yang lebih rendah) akan menghasilkan tekanan yang lebih rendah. (I. Siregar, 2020).

Dalam sistem kipas sentrifugal, tekanan yang melewati kipas mungkin berubah-ubah. Kontrol PID dapat membantu motor untuk menyesuaikan kecepatan laju udara dan tekanan yang dibutuhkan secara dinamis, sehingga mengurangi gangguan dan ketidakstabilan yang mungkin terjadi. Kontrol PID dapat menghasilkan respon yang sangat akurat dan presisi sesuai dengan nilai *setpoint*. Hal ini memungkinkan motor untuk mencapai kecepatan yang diinginkan dengan tingkat kesalahan yang minimal. (A. A. Fikri, 2019).

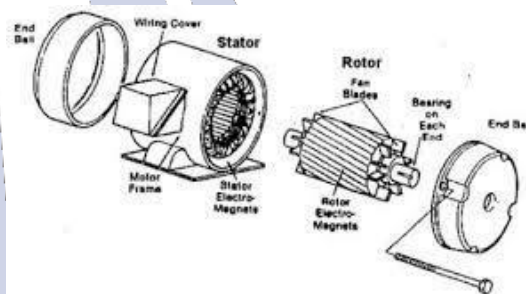
Berdasarkan beberapa studi yang telah dilakukan mengenai pengendalian motor induksi, penelitian ini menggunakan studi-studi tersebut sebagai pedoman. Dipenelitian ini merancang suatu permodelan sistem mengatur kecepatan motor induksi sebagai penggerak kipas sentrifugal melalui simulasi pemodelan menggunakan *software* Matlab yang terdapat alat khusus untuk simulasi bernama *Simulink*. (I. W. R. Ardana, 2008).

Tujuan dari penelitian yang berjudul “simulasi pengendalian motor induksi 3 fasa pada sistem kipas sentrifugal menggunakan kontroler PID”. Penelitian ini digunakan untuk menambahkan pengendalian pada motor induksi tiga fasa pada sistem kipas sentrifugal. Kontrol PID digunakan untuk mengurangi *overshoot*

juga mempercepat pada kondisi *steady state* dan juga mengurangi *error steady state* dari penelitian sebelumnya.

Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah salah satu macam jenis motor listrik yang bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi gerak/mekanik yaitu putaran dengan selip medan magnet antara stator dan rotor melalui catu daya sumber. Arus pada rotor motor tidak mendapatkan dari sumber, melainkan diinduksi dikarenakan adanya perbedaan yang bersifat komparatif pada rotor dengan medan magnet



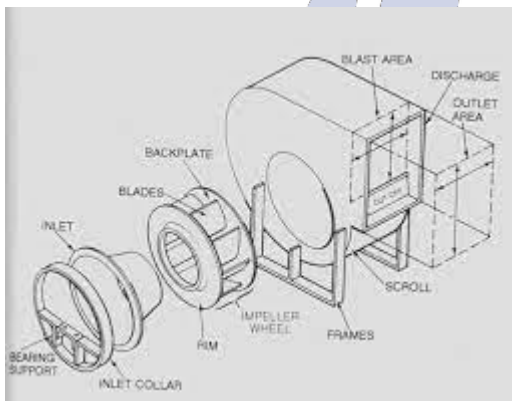
Gambar 1. Motor Tiga Fasa (Sumber :Febriansyah, 2018)

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu jenis motor menggunakan arus bolak-balik (AC) yang paling sering dimanfaatkan pada program kelanjutan di proses industri. Bahannya kokoh dan kuat menjadi alasan umum digunakan. Banyak hal yang dapat dilakukan dengan menggunakan motor induksi tiga fasa. Salah satu caranya adalah dengan membalikkan arah putaran jika perlu. Metode umum untuk membalikkan putaran motor dengan cara memindahkan salah satu fasa ke fasa yang lain yang tersambung pada lilitan stator. (Burtar, 2020)

Kipas Sentrifugal

Kipas merupakan peralatan yang menggerakkan aliran udara atau gas dengan membuat perbedaan tekanan melalui transfer kecepatan gerak dari daun kipas ke sekumpulan udara. Rotor kipas menjadikan energi gerak putar ke energi kinetik dan dalam bentuk tekanan

gas. Pemecahan daya mekanik dipisahkan beralih ke daya tekan dengan tujuan efisiensi energi tergantung di penggerak kipas yang dibuat. Menciptakan gaya sentrifugal dengan perangkat macam sentrifugal yang mengandalkan ke fase cairan yang diolah. Proses fase fluida, digunakan sentrifugal pompa, sedangkan untuk proses udara, umumnya menggunakan blower atau kipas. Untuk bentuknya, perangkat sentrifugal memiliki fisik bermacam-macam, tetapi prinsip dasarnya sejenis, yakni membuat daya kinetik melewati mode sentrifugal, kemudian mengganti daya kinetik ke daya tekan dengan menurunkan kecepatan aliran cairan secara teratur. (Dowst, 1991)

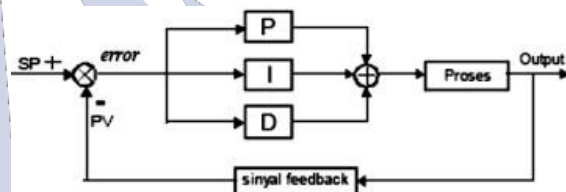


Gambar 2. Kipas Sentrifugal
(Sumber : Anwar, 2019)

Kontrol PID

Kontrol PID adalah sistem kontrol yang menggabungkan tiga komponen kontrol yang berbeda: Proporsional, Integral, dan Derivatif. Penggunaan salah satu dari ketiga jenis kontrol ini secara terpisah bisa menghasilkan hasil itu kurang memuaskan karena setiap jenis mempunyai keunggulan dan kekurangan sendiri-sendiri. Jadi, menggabungkan ketiga jenis kontrol tersebut dalam satu sistem yang kohesif diharapkan dapat mengoptimalkan keunggulan masing-masing kontroler. Pada dasarnya, perhitungan keluaran dari kontrol proporsional dilakukan dengan mengalikan input dengan konstanta proporsional. Ketika sinyal input berubah, sistem akan menghasilkan sinyal output yang sebanding dengan konstanta pengali tersebut.

Penggunaan kontrol integral secara signifikan meningkatkan respons sistem dengan mengurangi kesalahan kondisi tunak. Tanpa elemen integrator, kontrol proporsional tidak dapat memastikan keluaran sistem yang bebas dari kesalahan keadaan tunak. Pengontrol turunan kadang disebut "kontrol kecepatan" karena mereka menunjukkan hubungan langsung antara besarnya keluaran kontroler dan kecepatan perubahan sinyal kesalahan. Konstanta waktu T_d , yang merupakan konstanta waktu aksi yang dihasilkan, menunjukkan durasi peningkatan perilaku kontrol akibat pengaruh kecepatan. (Ferdiansyah, 2012)



Gambar 3. Blok Diagram Kendali PID
(Sumber : Budi, 2014)

Tuning Kontrol PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols 2

Penyesuaian kontrol adalah proses sistematis untuk memilih parameter yang tepat bagi perangkat kontrol guna mencapai tujuan kinerja tertentu. Metode Ziegler-Nichols digunakan untuk mengatur parameter penguatan proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu derivative (T_d) agar mencapai stabilitas marjinal. Pendekatan ini didasarkan pada pengamatan perilaku fungsi tangga ketika diberi berbagai nilai K_p , terutama dalam konteks kontrol proporsional. Metode Ziegler-Nichols digunakan untuk mengembangkan kontrol proporsional integral diferensial (PID). Pendekatan ini melibatkan penggunaan pedoman yang tepat bagi penentuan nilai penguatan proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu derivative (T_d) sesuai dengan hasil respon sementara pada sistem. Penalaan pengendali PID yaitu tahapan menemukan angka dari K_p , K_i , dan K_d . Salah satu pendekatan penyetelan yang sering dipakai adalah pendekatan Ziegler-Nichols ke-2. Pada pendekatan ini, penyetelan diberlakukan loop tertutup dengan input dasar berupa

rumus langkah (step). Dimulai dari 0 dan ditingkatkan mencapai angka puncak K_p , jadi output sistem beresilasi secara berkelanjutan pada rentang yang sejajar. Angka puncak K_p dikenal sebagai ultimate gain. (Wijaya, 2020)

Tabel 1. Penalaan Metode Ziegler-Nichols 2

	K_p	K_i	K_d
P	$K_u/2$	-	-
PI	$2K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$0,5 \times K_p/T_u$	$0,125 \times K_p \times T_u$

Matlab/Simulink

Perangkat perkembangan teori kontrol juga dilacak oleh perangkat lunak yang mendukungnya. Dari pemrograman sistem hingga proses simulasi perangkat lunak. Salah satu perangkat lunak yang bisa digunakan pada penelitian ini adalah Mallab. Perangkat lunak tersebut dibekali bermacam-macam kotak alat mempermudah buat menjalankan simulasi. Alat khusus yang telah dikembangkan untuk simulasi disebut *Simulink*.

Toolbox ini sudah dilengkapi dengan Aplikasi MatLab pada area konfigurasi dilengkapi dengan *Control toolbox*. Pada sistem ini dibekali menggunakan bermacam peran pembantu digunakan pada analisa sistem kendali. Ada bermacam peran pembantu itu biasa digunakan untuk menganalisa pada beberapa sistem umpan balik, langkah, *rlocus*, seri, dan lain-lain. Saat menyimpulkan sistem, perangkat lunak hanya membutuhkan informasi seperti fungsi alih yang dicatat pada *Laplace Transform* bisa disebut jaringan. (Sukamta, 2010)

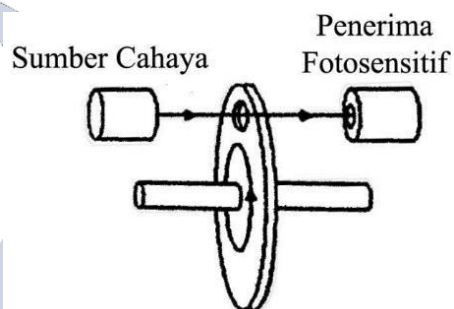
Sensor Encoder

Encoder merupakan perangkat elektromekanikal yang bisa memantau pergerakan dan kedudukan. Encoder biasanya memakai sensor Cahaya guna menghasilkan serangkaian sinyal yang bisa diterjemahkan pada pergerakan dan kedudukan. Dengan demikian, posisi sudut sebuah poros berputar dapat diubah menjadi informasi digital oleh rotary encoder dan diteruskan ke

rangkaian kendali. Encoder biasanya digunakan sebagai sensor pengukur kecepatan pada motor.

Cahaya dari sumber cahaya diteruskan ke penerima ketika melewati lubang pada piringan, dan dipantulkan kembali ketika tidak melewati lubang tersebut., menghasilkan impuls untuk setiap rotasi. Impuls-impuls itu selanjutnya dihitung waktu tertentu untuk menentukan kecepatan yang didapatkan. Pemrosesan elektronik diperlukan guna menghitung waktu impuls dan merubah nilainya menjadikan sinyal analog.

(Prasetya, dkk., 2023)



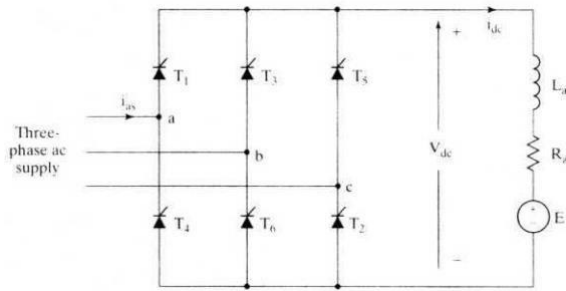
Gambar 4. Sensor Encoder (Sumber : Ramadani, 2021)

Inverter Tiga Fasa

Rangkaian inverter tiga fasa dirancang untuk mengubah catu daya arus searah (DC) menjadi daya arus bolak-balik (AC) tiga fasa. Biasanya, *Silicon Controlled Rectifiers* (SCRs) atau *Insulated Gate Bipolar Transistors* (IGBTs) digunakan dalam konfigurasi jembatan untuk keperluan ini. Mekanisme operasional inverter satu fasa mirip dengan inverter tiga fasa. Penggunaan mekanisme kontrol dan sakelar elektronik yang dilengkapi dengan kontrol frekuensi memberikan manfaat besar dalam mengonversi listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Pertanyaan mungkin muncul mengenai pengoperasian sakelar elektronik secara simultan karena kemungkinan adanya interferensi. Dalam situasi ini, sangat penting untuk mengkoordinasikan inisiasi sakelar elektronik seperti *Insulated Gate Bipolar Trsistor* (IGBT) atau *Silicon-Controlled Rectifier* (SCR) dengan perpindahan fasa 120 derajat untuk menghasilkan tiga

Simulasi Pengendalian Motor 3 Fasa Pada Kipas Sentrifugal Menggunakan Kontrol PID

fasa bentuk gelombang arus bolak-balik sebagai output. (Krisnan, 2001)



Gambar 5. Inverter 3 Fasa
(Sumber : Krisnan, 2001)

METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan dengan teknik *Research and Development* (R&D), Teknik RnD merupakan metode Penelitian yang dilakukan untuk memberikan hasil tertentu dan menguji keefektifan hasil tersebut. Dalam konteks R&D, Simulink sering digunakan sebagai alat untuk melakukan penelitian dan pengembangan sistem kontrol yang kompleks, analisis sistem dinamis, atau pemodelan matematis.

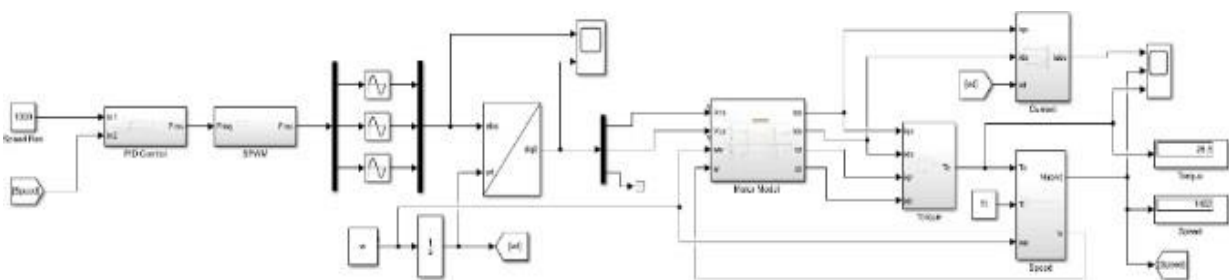
Rancangan Penelitian

Untuk membuat sebuah simulasi pengendalian motor 3 fasa pada kipas sentrifugal menggunakan kontrol PID, maka diperlukan beberapa tahapan untuk mengerjakan penelitian ini. Studi literatur dimaksudkan pada penelitian ini ialah mengamati berbagai sumber referensi atau teori motor induksi tiga fasa dari penelitian sebelumnya yang yang telah

dipublikasikan maupun buku yang diterbitkan. Analisis kebutuhan sistem ini merupakan tahap kedua dari rancangan penelitian yang digunakan untuk menindaklanjuti studi literatur yang di lakukan. Perancangan sistem adalah tahapan pembuatan desain sistem kontrol maupun rancang bangun *software* yang dilakukan untuk simulasi, untuk lebih jelasnya akan dijabarkan di bagian selanjutnya. Pengujian kelayakan sistem dilakukan guna untuk memastikan apakah sistem dapat berfungsi dengan bagus. Tahapan pengujian sistem disesuaikan dengan tahap dalam pembuatan program secara keseluruhan maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah analisis perancangan dan hasil Simulasi Pengendalian Motor 3 Fasa pada Kipas Sentrifugal Menggunakan Kontrol PID.

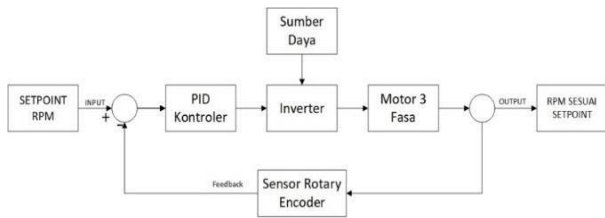
Desain Sistem Kontrol

Perencanaan dan representasi sistem digunakan merepresentasikan keadaan yang ada mengontrol kecepatan pada motor induksi menggunakan sebuah alat inverter yang diatur oleh PID, lalu PWM (Pulse Width Modulation) mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital yang dikirimkan ke inverter. Catu daya dari DC bertindak menjadi inputan inverter yang akan dirubah jadi tegangan AC menggunakan kontrol frekuensi bahwa bisa disesuaikan buat mengoperasikan motor hubung singkat. Kecepatan sebenarnya yang terbaca sensor encoder akan dikomparasi dengan kecepatan masukan, perbedaan dengan referensi kecepatan motor dikembalikan ke pengontrol PID. Pada gambar 7 diagram blok sistem



Gambar 6. Model Matematika

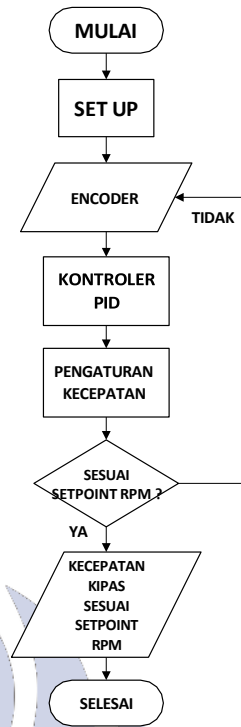
lebih difokuskan pada aspek visualisasi dan desain modular, dan gambar 6 model matematika sistem memberikan kerangka untuk analisis yang lebih mendalam dan simulasi matematis. Keduanya saling melengkapi dalam proses desain dan analisis sistem.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem

Rancang Bangun Visualisasi Simulink

Rancang bangun visualisasi simulink yang dimaksud yaitu program simulasi pengendalian motor tiga fasa pada kipas sentrifugal menggunakan kontrol PID. Salah satu perangkat lunak untuk bisa digunakan pada aplikasi yaitu MatLab, Mathworks, Inc. Perangkat lunak mencakup dengan macam-macam kotak alat yang bisa membantu dalam perhitungan. Alat khusus yang telah dikembangkan untuk simulasi disebut Simulink. Dengan peralatan tersebut, Anda dapat membangun model simulasi sesuai kebutuhan dan memvisualisasikan hasilnya menggunakan Simulink. Pada Gambar 8 dimulai dengan menetapkan *setpoint* kecepatan motor 3 fasa yang diinginkan, kemudian motor berjalan dan sensor encoder yang membaca kecepatan yang dihasilkan lalu dikirim ke PID kontroler dengan pulsa RPM yang dihitung menggunakan tuning Aturan Ziegler-Nichols atau trial and error untuk memberikan umpan balik sehingga kecepatan motor dapat disesuaikan. Jika tidak sesuai dengan *setpoint*, proses akan diulang hingga *set point* yang diinginkan tercapai.



Gambar 8. Flowchart Pengendalian Motor Tiga Fasa

Hasil dan Pembahasan Perancangan Simulasi

Motor yang digunakan pada simulasi ini adalah motor induksi tiga fasa. Dimana pada Simulink matlab R2019b menggunakan blok parameter *asynchronous machine SI* (Standart International) unit. Spesifikasi motor induksi tiga fasa terdapat pada *nameplate* motor yang digunakan untuk menggerakkan kipas sentrifugal, kemudian dihitung menggunakan function pada matlab. Perhitungan pada matlab menghasilkan parameter yang digunakan untuk blok parameter *asynchronous machine SI* unit pada Simulink. Parameter motor induksi tiga fasa bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Spesifikasi Motor Tiga Fasa

Parameter	Spesifikasi
Power	30 Kw
Voltage	400 V
Arus	56 A
Frekuensi	50 Hz
Kecepatan	975 Rpm
Torsi	293 Nm

Simulasi Pengendalian Motor 3 Fasa Pada Kipas Sentrifugal Menggunakan Kontrol PID

Parameter	Spesifikasi
Jumlah kutub	6 pole
Rotor Induktansi 1 (L _{lr})	0.0022 H
Rotor Resistansi 1(R _r)	0.2136 Ohm
Rotor Induktansi 2(L _{lr})	0.00035 H
Rotor Resistansi 2(R _r)	0.2143 Ohm
Stator Induktansi (L _{is})	0.0004067 H
Stator Resistansi (R _s)	0.00035 Ohm
Mutual Induktansi (L _m)	0.0209 H
Inersia	0.37 kgm ²

Selanjutnya Data spesifikasi Kipas sentrifugal diambil dari name plate yang terpasang pada kipas tersebut seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Kipas Sentrifugal

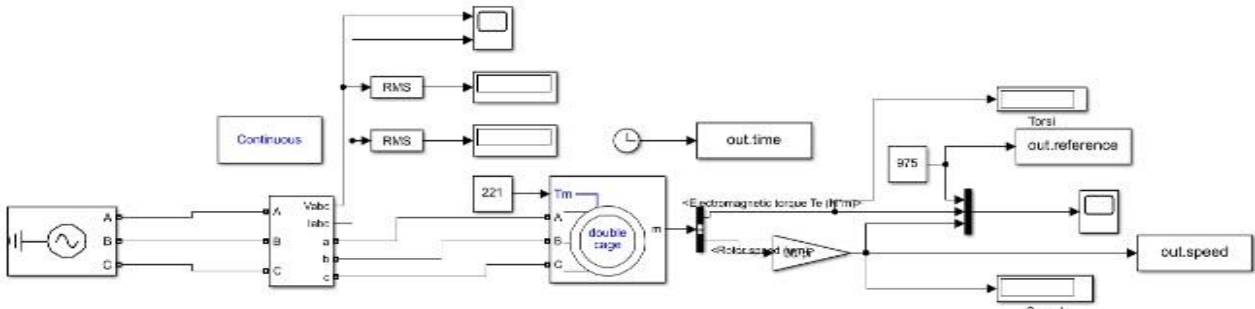
Parameter	Spesifikasi
Volume Udara	68000 m ³ /h
Kecepatan	950 rpm
Tekanan	800 Pa
Efisiensi	70 %
Daya	22 kW
Kecepatan Udara	14 m/s
Kebisingan	95 dB

Permodelan rancangan sistem adalah proses mendesain dan mengembangkan representasi visual atau konseptual dari suatu sistem, seperti sistem perangkat lunak, arsitektur jaringan, atau sistem manufaktur.

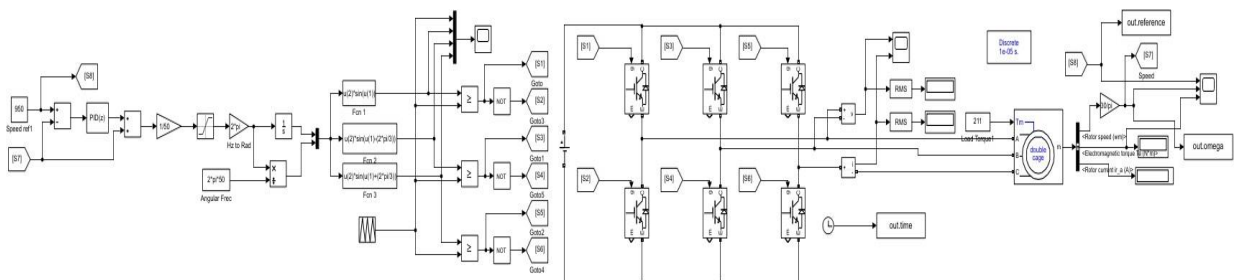
Sistem pengendalian motor induksi tiga fasa pada kipas sentrifugal menggunakan kontrol PID dan tanpa kontrol dibuat dengan Simulink matlab R2019b. Pengujian rancangan sistem menggunakan teknik sampling pada saat motor diberikan beban dan tanpa beban. Input untuk permodelan sistem menggunakan sinyal *error* yang dihitung dari perbedaan antara kecepatan yang dituju (*setpoint*) dengan nilai konstan 500 rpm dan hasil kecepatan aktual motor pada saat diberikan beban dan tanpa beban yang kemudian dibaca oleh sensor encoder pada motor.

Tuning Parameter PID

Metode Ziegler-Nichols 2 adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk mencari parameter proporsional, integral, dan derivative. Dalam metode Ziegler-Nichols tipe 2 ini, untuk mencari nilai parameter parameter PID maka tahap pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan beberapa

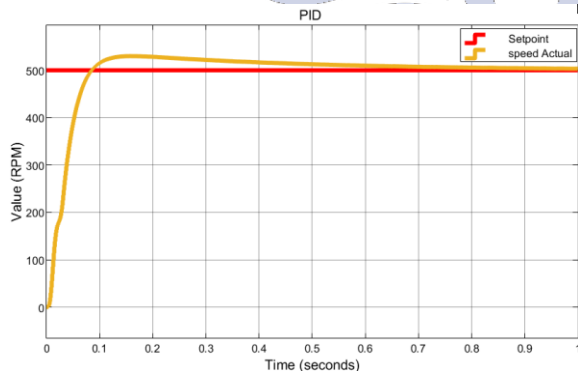


Gambar 9. Rancangan Sistem Kontrol PID



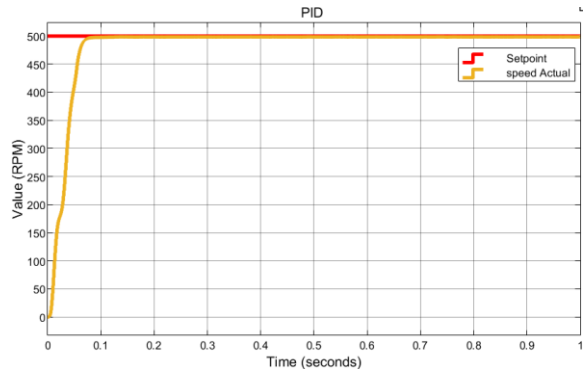
Gambar 10. Rancangan Sistem Tanpa Kontrol PID

pengujian respon sistem dengan parameter proporsional yang berbeda-beda. Pada tahap awal ini, respon sistem yang dicari adalah respon yang menghasilkan grafik respon yang beresilasi dengan stabil untuk mencari nilai Kcr dan Pcr. Nilai Kcr merupakan nilai parameter proporsional saat respon beresilasi dengan stabil dan sedangkan Pcr adalah waktu yang diperlukan sistem untuk mendapatkan satu gelombang penuh atau dapat juga disebut sebagai periode. Dalam pengujian ini, *setpoint* 500 rpm yang jadi acuan adalah kecepatan motor sehingga motor akan berusaha untuk mencapai kecepatan *setpoint* yang diberikan. Berikut merupakan hasil percobaan untuk mencari parameter Kcr dan Pcr. Berdasarkan metode Ziegler Nichols 2, setelah mencari nilai Kcr dan Pcr dan melakukan perhitungan sesuai dengan rumus pada tuning Ziegler Nichols 2, maka didapatkan nilai parameter proporsional sebesar 81 nilai parameter integral sebesar 213,15 dan nilai parameter derivatif sebesar 1,92. Setelah mendapatkan sistem parameter-parameter tersebut, didapatkan respon seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik tuning Ziegler-Nichols 2

Untuk mencari nilai Kp, Ki, dan Kd digunakan metode trial and error, yaitu dengan mencari nilai parameter dengan cara mencoba suatu nilai tertentu sebagai parameter sampai mendapatkan sebuah performan kontrol PID yang baik. Dengan berubahnya nilai dari proporsional, integral, dan derivative, kita bisa analisis kecepatan putaran motor tiga fasa yang dijalankan dengan trial and error.



Gambar 12. Grafik Metode Trial and Error

Diketahui pada Gambar 12 memiliki hasil pada grafik menunjukkan putaran output pada *setpoint* sebesar 500 rpm dengan parameter Kp sebesar 120, parameter Ki sebesar 7,5, dan parameter kd sebesar 1. Hasil respon tuning parameter PID pada kedua metode pada tabel 4 dibawah.

Tabel 4. Hasil Respon Tuning Parameter PID

Parameter	Ziegler-Nichols 2	Trial and Error
<i>Error steady state</i>	0,7 %	0,3 %
<i>Overshoot</i>	1 %	0,01 %
<i>Rise time</i>	0,05 s	0,04 s
<i>Settling time</i>	0,5s	0,06 s
<i>Peak time</i>	0,2 s	0,7 s

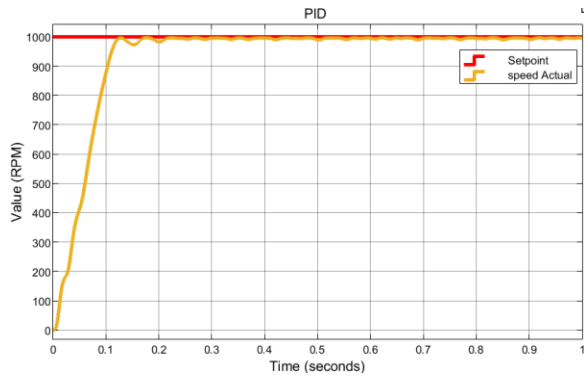
Setelah uji coba menggunakan metode Ziegler-Nichols dan Trial and error, maka diputuskan sistem menggunakan parameter dari Trial and error dengan parameter Kp sebesar 300, parameter Ki sebesar 16,5, dan parameter kd sebesar 1.

Pengujian Rancangan dan Hasil Simulasi

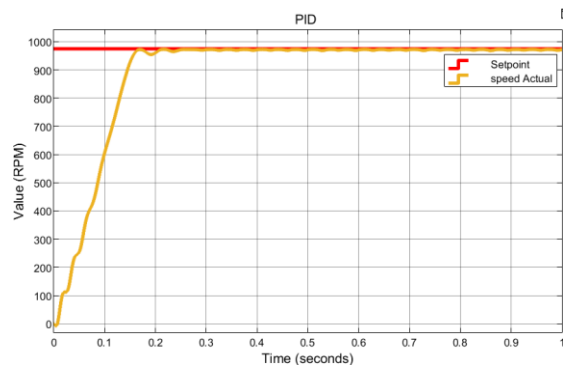
Pengujian ini digunakan untuk menggambarkan respons kecepatan motor secara visual, diukur dalam rpm, di bawah dua pengaturan berbeda. Kondisi pertama melibatkan PID, sedangkan kondisi kedua tidak memiliki kontrol PID.

Pengujian pertama dilakukan dengan tanpa tekanan selama 1 detik dengan *setpoint* 1000 RPM. Hasil respon motor akan ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.

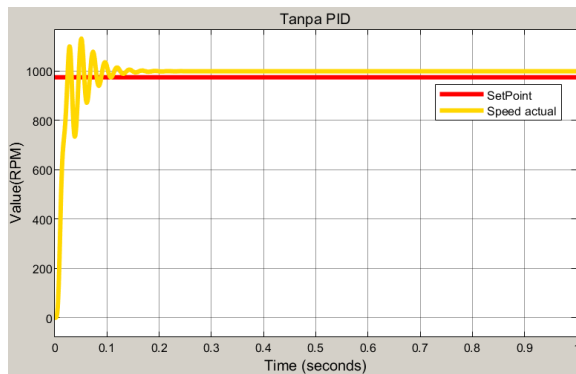
Simulasi Pengendalian Motor 3 Fasa Pada Kipas Sentrifugal Menggunakan Kontrol PID



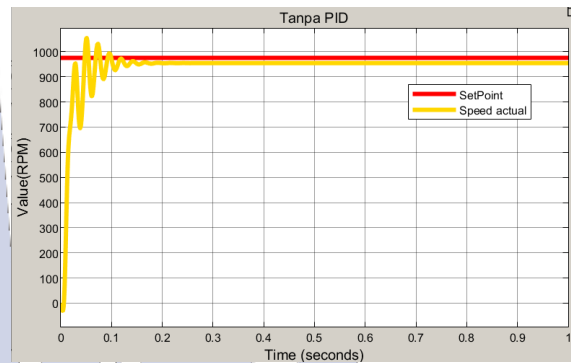
Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Pada Kontrol PID



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Tekanan 400 Pascal Pada Kontrol PID



Gambar 14. Grafik Hasil Pengujian Tanpa Kontrol PID



Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian Tekanan 400 Pascal Tanpa Kontrol PID

Hasil respon pengujian tanpa tekanan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Respon Pengujian Tanpa Tekanan

Parameter	PID	Tanpa PID
<i>Error steady state</i>	0,26 %	1,18 %
<i>Overshoot</i>	0,064 %	1,8 %
<i>Peak time</i>	0,19 s	0,023 s
<i>Rise time</i>	0,1 s	0,01 s
<i>Settling time</i>	0,17 s	0,16 s

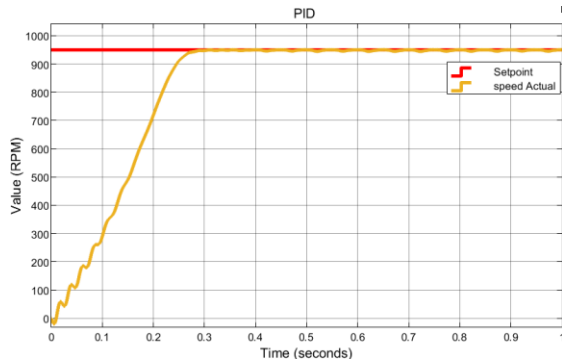
Pengujian kedua dilakukan dengan tekanan 400 Pascal selama 1 detik dengan setpoint 975 rpm. Hasil respon motor akan ditunjukkan pada Gambar 15 dan 16.

Hasil respon pengujian tekanan 400 pascal dapat dilihat pada Tabel 6.

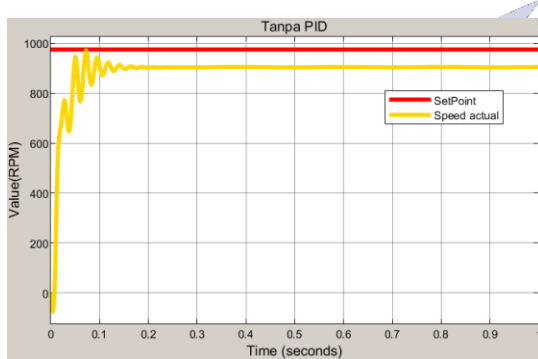
Tabel 6. Hasil Respon Pengujian Tekanan 400 pascal

Parameter	PID	Tanpa PID
<i>Error steady state</i>	0,33 %	2 %
<i>Peak time</i>	0,89 s	0,05 s
<i>Overshoot</i>	0,02 %	1,82 %
<i>Rise time</i>	0,13 s	0,01 s
<i>Settling time</i>	0,18 s	0,11 s

Pengujian ketiga dilakukan dengan tekanan 800 Pascal selama 1 detik dengan *setpoint* 950 RPM. Hasil respon motor akan ditunjukkan pada Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. Grafik Hasil Pengujian Tekanan 800 Pascal Pada Kontrol PID



Gambar 18. Grafik Hasil Pengujian Tekanan 800 Pascal Tanpa Kontrol PID

Hasil respon pengujian tekanan 800 pascal dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Respon Pengujian Tekanan 400 pascal

Parameter	PID	Tanpa PID
Error steady state	0,67 %	4,7 %
Peak time	0,4 s	0,07 s
Overshoot	0,01 %	0,96 %
Rise time	0,25 s	0,03 s
Settling time	0,34 s	0,11 s

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan pengujian simulasi Pengendalian Motor Induksi 3 Fasa Pada Kipas Sentrifugal Menggunakan Kontrol PID, dapat disimpulkan bahwa :

Desain rancangan simulasi yang dijalankan menggunakan software Matlab R2019A, menggunakan Simulink yang khusus dikembangkan untuk penggunaan simulasi. Mekanisme kontrol PID dimanfaatkan untuk mengontrol kecepatan rotasi motor

induksi tiga fasa pada kipas sentrifugal. Kontrol PID menggunakan tiga parameter, yaitu gain Kp, Ki, dan Kd, untuk meningkatkan kinerja sistem. Parameter Kp digunakan untuk mereduksi waktu naik dan error steady state, parameter Ki digunakan untuk mengurangi waktu naik dan ketidaktepatan kondisi tunak, dan parameter Kd digunakan untuk menipiskan overshoot dan settling time.

Dalam mengatur variabel PID metode Ziegler-Nichols menawarkan kecepatan dan kemudahan dalam penyetelan variabel PID, metode trial and error memberikan hasil yang lebih optimal dan sesuai dengan karakteristik spesifik sistem melalui penyesuaian yang lebih teliti dan fleksibel. Metode trial and error lebih unggul dalam menghasilkan kinerja yang halus, stabil, dan efisien, meskipun memerlukan waktu dan usaha yang lebih banyak.

Sistem menjalani tiga pengujian yaitu tanpa tekanan, tekanan 400 Pascal, dan tekanan penuh dengan kontrol PID maupun tanpa kontrol PID. Hasil percobaan yang diperoleh dari pengujian diatas menunjukkan bahwa rise time, settling time, peak time pada rangkaian tanpa kontrol PID lebih cepat responnya dari pada menggunakan PID dikarenakan sistem tanpa kontroler PID mungkin mengalami respon yang lebih cepat, overshoot yang lebih besar, dan waktu yang lebih lama untuk mencapai stabilitas karena tidak ada mekanisme yang mengatur respons sistem secara dinamis dan efektif. Hal ini membuat rise time, settling time, dan peak time lebih tinggi dibandingkan dengan sistem yang menggunakan kontrol PID. Tetapi nilai overshoot dan error steady state pada rangkaian tanpa kontrol PID lebih besar dari pada kontrol PID karena kontrol PID memberikan mekanisme yang efisien untuk mengatur respons dinamis sistem, mengurangi rise time, settling time, peak time, overshoot, dan steady-state error, yang tidak dapat dicapai oleh sistem tanpa kontrol PID. Dapat ditarik kesimpulan bahwa pemanfaatan sistem kontrol proporsional-integral-derivatif (PID) berpotensi meningkatkan efisiensi

operasional motor induksi tiga fasa, berbeda dengan kinerjanya tanpa adanya jenis pengontrol apa pun

Saran

Dari Kesimpulan di atas, ada beberapa saran yang diberikan penulis agar dapat dijadikan bahan untuk mengembangkan penelitian ini pada penelitian selanjutnya, yaitu:

Kemungkinan untuk meningkatkan sistem kontrol kecepatan terletak pada penggunaan metode kontrol alternatif seperti PI (Proportional Integral), PD (Proportional Derivatif), fuzzy, dan fuzzyPID. Metode ini menawarkan kesempatan untuk mengoptimalkan hasil secara lebih luas.

Desain dan penerapan sistem kontrol motor induksi 3 fasa pada kipas sentrifugal dapat diimplementasikan secara efektif dalam lingkungan industri dunia nyata.

DATFAR PUSTAKA

- Alam, Maulana Mafatihul . 2020. *Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Pada Kipas Sentrifugal Di PT. Kimia Farma Tbk. Plant Semarang*. Universitas Semarang
- Anwar, Henri Amirudin. 2019. *Fan System Design*, Buku Universitas Esa Unggul
- Ardana, I Wayan Raka. 2008. *Simulasi Sistem Kontroler Pid Untuk Motor Induksi Menggunakan Perangkat Lunak Matlab / Simulink*. Jurnal Teknik Elektro Politenik Negeri Bali, 7(2):66–73.
- Chairuzzaini. 1998. *Pengenalan Metode Ziegler-Nichols pada Perancangan Kontroler pada PID*. Jurnal elektro Indonesia.
- Dowst. 1991. *Fan Blowers*. Journal of the American Society for Naval Engineers, 3(4): 473–482.
- Ferdiansah, Gigih Prabowo. 2012. *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 ϕ dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC) (Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan*. Politenik Elektronika Negeri Surabaya - ITS.
- Fikri, Ahmadan Ainul. 2019. *Sistem Pengaturan PID Motor DC Sebagai Penggerak Mini Conveyor Berbasis Matlab*. Jurnal Teknik Elektro. 8(2):293–301.
- Fitrah Eka Susilawati, Siaulhak Siaulhak, Alim Surya Saruman. 2021. *Deteksi Pengurangan Noise pada Citra Digital menggunakan Metode Frequency Domain Code Matlab*, Jurnal Konferensi Nasional Ilmu Komputer, pp. 550–560
- Joshua Gabriel Burtar-burtar. 2020. *Menentukan Kinerja Suatu Motor Induksi Tiga Fasa 380 Volt, 4 Hp, 50 Hz, 1420 Rpm Melalui Diagram Lingkaran*.
- R. Krisnan. 2001, *Electric Motor Drives: Modeling, analysis, and control*. United State : Prentice Hall publisher.
- Ramadani, Muhammad Nur. 2021. *Implementasi Kendali Kecepatan Motor Induksi*, Jurnal Teknik Elektro.
- Siregar, Irpansyah. 2020. *Analisa Pengaruh Sudut Sudu Impeller Pada Unjuk Kerja Blower Sentrifugal*. Jurnal Mesin Elektro Sipil(Mesil). 18(2):41–49.
- Sukamta Sri. 2010. *Perancangan Kendali Pid Dengan Matlab*. Jurnal Teknik Elektro. 2(1):7823–7830.
- Totok Hariyanto. 2023. *Monitoring Dan Kendali Kecepatan Motor Universal Menggunakan Human Machine Interface (HMI)*. Jurnal Teknik Elektro Borneo. 9(1) : 28–35.
- Wildan. 2016. *Sistem pengaturan motor induksi tiga fasa menggunakan kontroler PID Berbasis Genetic Alghorithm*
- Yafioda, Aditiya. 2023. *Perbaikan Unjuk Kerja Motor 3 Fasa Sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan Kontrol PID*. 12(1): 83–91.