

Perbaikan Unjuk Kerja Motor 3 Fasa Sebagai Penggerak Konveyor Menggunakan Kontrol PID

Aditiya Yafioda

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : aditiya.19050@mhs.unesa.ac.id

Endryansyah, Puput Wanarti Rusimamto, Parama Diptya Widayaka

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : endryansyah@unesa.ac.id, paramawidayaka@unesa.ac.id, puputwanarti@unesa.ac.id

Abstrak

Konveyor berfungsi sebagai alat untuk memindahkan barang dengan jarak yang diinginkan. Karena kemampuan mereka untuk menghasilkan daya yang besar dan efisiensi yang tinggi, motor tiga fasa sering digunakan sebagai penggerak sistem konveyor. Namun, dalam beberapa situasi, motor dapat mengalami masalah unjuk kerja seperti waktu respons yang lambat, osilasi, atau ketidakstabilan saat bekerja dengan beban yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak konveyor menggunakan kontrol PID. Pada penelitian ini membuat simulasi kontrol PID menggunakan software matlab dengan alat khusus untuk simulasi yaitu Simulink, dan melakukan pengujian respon sistem baik dengan kontroller maupun tanpa kontroller. Untuk mengetahui gain kontroler K_p , K_i , dan K_d , parameter kontrol PID menggunakan metode *trial and error*. Masukan sistem ini dikirim ke kontrol PID melalui *setpoint* (1800 rpm) dan eror dari kecepatan putaran motor induksi tiga fasa, sedangkan keluaran sistem dari motor induksi tiga fasa adalah kecepatan dan torsi. Pada pengujian sistem pada beban 100g (0,0098 N.cm) dengan kontrol PID dengan parameter K_d 0,3, parameter K_i 7,4, dan parameter K_p 69 didapatkan *overshoot* = 2,3%, *rise time* = 0,625 detik, *settling Time* = 0,686 detik dan *error steady state* = 2,278%. Sedangkan hasil pengujian tanpa kontroller didapatkan *overshoot* = 0, *rise time* = belum mencapai set point, *settling Time* = 0,670 detik, dan *error steady state* = 12,5%.

Kata Kunci: Sistem Kendali, Motor Induksi, Kontrol PID, Konveyor.

Abstract

Conveyors function as tools to move goods to the desired distance. Because of their ability to generate large amounts of power and high efficiency, three-phase motors are often used to drive conveyor systems. However, in some situations, the motor may experience performance problems such as slow response time, oscillation, or instability when working with different loads. The purpose of this research is to create a three-phase induction motor speed control system for a conveyor drive using PID control. In this study, a PID control simulation was made using Matlab software with a special tool for simulation, namely Simulink, and tested the system response both with and without a controller. To determine the controller gain K_p , K_i , and K_d , the PID control parameters use the trial and error method. The input of this system is sent to the PID control via the setpoint (1800 rpm) and error from the rotational speed of the three-phase induction motor, while the output of the system from the three-phase induction motor is speed and torque. In testing the system with a constant load of 100g (0.0098 N) using PID control with a K_d parameter of 0.3, a K_i parameter of 7.4, and a K_p parameter of 69, the overshoot was 2.3%, the rise time was 0.625 seconds, the settling time was 0.686 seconds, and the steady state error was 2.278%. While the test results without a controller obtained overshoot = 0, rise time = not yet reaching the set point, settling time = 0.670 seconds, and steady state error = 12.5%.

Keywords: Control Systems, Induction Motors, PID Controls, Conveyors.

PENDAHULUAN

Konveyor berfungsi sebagai sistem mekanis yang dirancang untuk memfasilitasi pengangkutan objek melintasi jarak tertentu. Sistem konveyor sering menggunakan motor tiga fase karena kemampuannya untuk menghasilkan daya yang signifikan dan mencapai tingkat efisiensi yang tinggi. Namun, dalam situasi tertentu, motor mungkin mengalami tantangan performa seperti

waktu respons yang tertunda, osilasi, atau ketidakstabilan saat berfungsi dengan beban yang berfluktuasi.

Kendali sistem dinamik pada motor tiga fasa sering dicapai melalui penerapan kendali proporsional-integral-derivatif (PID). Kontroler PID menggunakan tiga elemen dasar, yaitu proporsional (P), integral (I), dan diferensial (D), untuk memberikan sinyal kontrol yang sesuai. Komponen proporsional dari suatu sistem mengakumulasi

kesalahan selama periode waktu tertentu dan menghasilkan respons yang berbanding lurus dengan integral kesalahan. Komponen integral dari suatu sistem bertanggung jawab untuk meramalkan perubahan nilai arus dan menghasilkan reaksi yang berbanding lurus dengan integral dari kesalahan. Dengan mengintegrasikan ketiga elemen ini, kontrol PID memiliki kemampuan untuk mencapai konfigurasi sistem yang akurat dan cepat. Kontrol PID memiliki kemampuan untuk memberikan respons yang sangat akurat dan tepat bila dilengkapi dengan nilai setpoint yang telah ditentukan sebelumnya. Menurut Mauludin (2014).

Fitur ini memungkinkan motor mencapai posisi dan kecepatan yang diinginkan sambil meminimalkan penyimpangan apa pun. Implementasi kontrol PID dalam konteks motor tiga fase yang digunakan sebagai penggerak konveyor memiliki potensi untuk meningkatkan kinerjanya secara signifikan melalui kemampuan untuk melakukan penyesuaian pengaturan kontrol secara real-time. Hal ini memungkinkan tercapainya tingkat penyesuaian yang ideal terhadap keadaan operasional yang berbeda, seperti fluktuasi beban kerja atau suhu motor. Penggunaan mekanisme kontrol PID yang direkayasa dengan cermat memiliki potensi untuk menambah efisiensi dan kemanjuran operasional sistem konveyor melalui peningkatan daya tanggap, stabilitas, presisi, dan fleksibilitasnya.

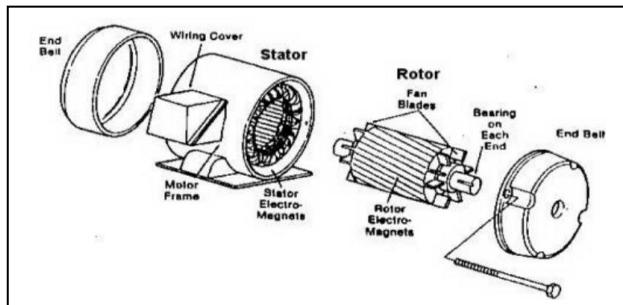
Tujuan utama dari makalah penelitian berjudul "Meningkatkan Efisiensi Penggerak Konveyor Memanfaatkan Motor Tiga Fase melalui Integrasi Kontrol PID" adalah untuk menguji kelayakan dan efektivitas penggunaan sistem kontrol untuk motor tiga fase dalam konteks penggerak konveyor. Selain itu, pemanfaatan kontrol PID tidak hanya mengurangi overshoot, tetapi juga meningkatkan laju pencapaian kondisi tunak dan mengurangi kesalahan kondisi tunak.

KAJIAN PUSTAKA

Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi banyak digunakan di beberapa sektor industri, menjadikannya jenis motor listrik yang paling sering ditemui. Sistem ini mendemonstrasikan selisih antara bidang stator dan rotor dan menggunakan kopling magnet untuk memungkinkan transformasi energi listrik menjadi energi kinetik. Arsitektur bangunan, yang dicirikan oleh kesederhanaannya, berkontribusi pada penghematan biaya dan kemudahan akses. Selain itu, ia memiliki kapasitas untuk diberi energi langsung oleh catu daya arus bolak-balik (AC).

Motor tiga fase, seperti motor listrik lainnya, terdiri dari dua komponen dasar: stator, yang tetap, dan rotor, yang mengalami rotasi.



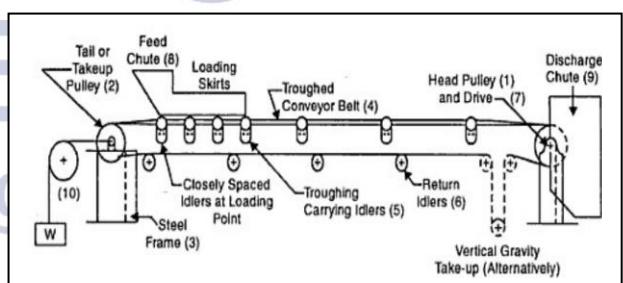
Gambar 1. Motor Induksi 3 fasa

(Sumber : Mahmud, 2020)

Mekanisme operasi motor induksi tiga fasa yang diilustrasikan pada Gambar 1 memerlukan penerapan tegangan tiga fasa ke belitan stator, yang mengarah pada produksi arus di dalam kumparan stator. Medan rotasi akan menunjukkan kecepatan sinkron sebagai akibat dari rasio sudut 120 derajat yang ada antara ketiga fase.

Conveyor

Tujuan utama peralatan mekanis yang disebut sebagai konveyor adalah untuk memfasilitasi pengangkutan produk. Belt conveyor yang digambarkan pada Gambar 3 berfungsi sebagai media untuk mentransfer beban, baik dalam unit diskrit atau sebagai tumpahan, di antara berbagai sistem penggerak di dalam jalur produksi. Pemilihan teknik yang tepat untuk pengangkutan zat padat, baik sebagai pembawa maupun beban, bergantung pada berbagai aspek. Kriteria yang dicakup dalam analisis ini terdiri dari kemampuan pemrosesan material, jarak yang diperlukan untuk pengangkutan material, arah pergerakan (baik horizontal, vertikal, atau miring), serta ukuran, bentuk, dan kualitas yang melekat pada material.



Gambar 2. Conveyor

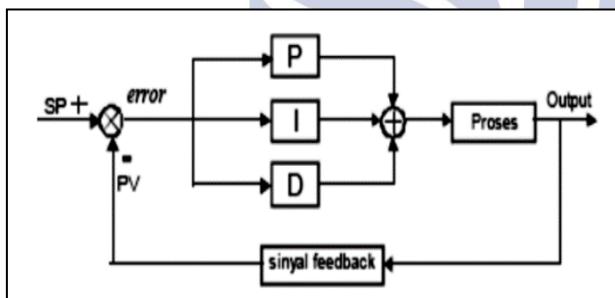
(Sumber : Baroroh, 2022)

Konveyor sabuk pada Gambar 2 dilengkapi dengan sabuk terangkat yang diposisikan relatif terhadap rol pendukung. Sabuk yang digerakkan motor, bila dikombinasikan dengan katrol, memiliki potensi untuk mengalami gerakan lateral ke arah translasi, seperti yang ditentukan oleh desain dan persyaratan individual. Material mengalami gerak translasi saat bergerak dalam sinkronisasi

dengan kecepatan sabuk. Untuk memfasilitasi perputaran ban, dibuat hubungan langsung antara roda penggerak dan motor listrik yang dilengkapi dengan rasio gigi rendah. Katrol dan sabuk yang terletak di atas rol menunjukkan aksi sinkron, menunjukkan bahwa mereka berfungsi pada kecepatan yang seragam. Tujuan mendasar dari ban berjalan adalah untuk memungkinkan transportasi yang efisien dari banyak jenis komoditas, termasuk barang curah dan barang satuan. Motor sering dikaitkan dengan tromol atau dihubungkan dengan katrol (Fikri, 2019).

Kontrol PID

Kontrol PID yang diilustrasikan pada Gambar 4 adalah sistem kontrol komposit yang mengintegrasikan tiga komponen kontrol yang berbeda: kontrol Proporsional, Integral, dan Derivatif. Pemanfaatan salah satu dari tiga jenis kontrol unik secara terpisah dapat mengakibatkan hasil yang tidak memuaskan karena kekuatan dan kelemahan yang melekat terkait dengan masing-masing bentuk. Oleh karena itu, penggabungan ketiga jenis kontrol tersebut ke dalam sistem kontrol yang kohesif diharapkan dapat memfasilitasi pengutamaan keunggulan individu yang diberikan oleh masing-masing kontroler seperti Gambar 3 (Ferdiansyah, 2015).



Gambar 3. Kendali PID

(Sumber: Mauludin, 2014)

Intinya, perhitungan output dari pengontrol proporsional dicapai dengan mengalikan input dengan konstanta proporsional. Ketika terjadi perubahan sinyal input, sistem akan menghasilkan sinyal output yang sebanding dengan konstanta pengali. Nilai konstanta ini ditentukan melalui korelasi antara keluaran pengontrol $m(t)$ dan sinyal kesalahan $e(t)$.

Penggabungan pengontrol terintegrasi secara signifikan meningkatkan respons sistem dengan berhasil mengurangi kesalahan kondisi tunak. Tanpa dimasukkannya elemen integrator, dilambangkan sebagai $1/s$, pengontrol proporsional tidak dapat menjamin keluaran sistem yang tidak menunjukkan kesalahan keadaan tunak.

Istilah "kontrol kecepatan" kadang-kadang digunakan untuk menggambarkan pengontrol turunan, karena mereka menunjukkan korelasi langsung antara besarnya output

pengontrol dan kecepatan perubahan sinyal kesalahan. Konstanta waktu T_d , yang merupakan konstanta waktu aksi yang dihasilkan, menunjukkan lamanya perilaku kontrol relatif mengalami peningkatan akibat pengaruh kecepatan.

Pengintegrasian kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol derivatif menghasilkan respon sistem yang digambarkan pada Tabel 1. Sebagai hasilnya, persamaan kontrol proporsional-integral-derivatif (PID) diperoleh pada persamaan 1 :

$$m(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

dengan nilai :

$mv(t)$ = output dari pengontrol PID atau manipulated variable

K_p = parameter Proporsional

T_i = parameter Integral

T_d = parameter Detivatif

$e(t)$ = error (selisih antara set point dengan level aktual).

Penggabungan antara 3 pengontrol yaitu pengontrol proporsional, integral, dan derivatif menghasilkan tanggapan sistem kontrol PID seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Respon	Rise time	Overshoot	Settling time	Steady state error
K_p	Menurun	Meningkat	Sedikit berubah	Menurun
K_i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Sedikit berubah	Menurun	Menurun	Sedikit berubah

(Sumber : (Sukamta. 2010)

Tuning Kontroler PID dengan metode Ziegler-Nichols

Penyesuaian kontrol adalah proses metodis pemilihan parameter yang cocok untuk perangkat kontrol dengan tujuan mencapai tujuan kinerja tertentu. Metode Ziegler-Nichols digunakan untuk menyesuaikan parameter gain proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu turunan (T_d) untuk mencapai stabilitas marjinal. Pendekatan ini didasarkan pada pemeriksaan perilaku fungsi tangga ketika dikenai berbagai nilai K_p , khususnya dalam konteks kontrol proporsional. Pemanfaatan metode Ziegler-Nichols digunakan untuk mengembangkan kontrol proporsional integral diferensial (PID). Pendekatan yang digunakan dalam metode ini melibatkan penggunaan pedoman yang tepat untuk penentuan nilai gain proporsional (K_p), waktu integral (T_i), dan waktu turunan (T_d) sesuai dengan karakteristik respon transien. Pedoman tersebut diuraikan dalam Tabel 2 publikasi Ogata pada tahun 1985.

Tabel 2. Aturan Ziegler-Nichols

	K _p	T _i	T _d
P	0,5 Kcr	-	-
PI	0,45 Kcr	0,83 Pcr	-
PID	0,6 Kcr	0,5 Pcr	0,125 Pcr

(Sumber : (Ogata. 1985)

Metode Simulasi Menggunakan Komputer

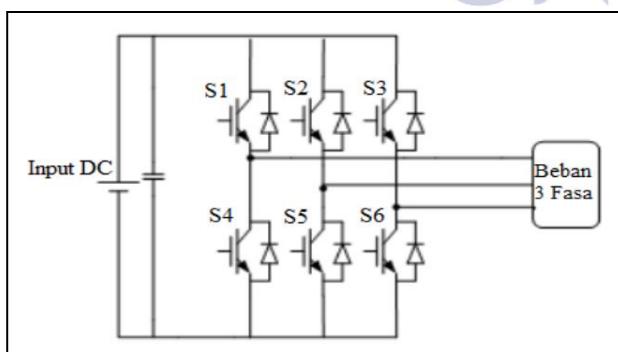
Pengembangan perangkat lunak dimaksudkan untuk memfasilitasi teori kontrol dibentuk oleh kemajuan teoritis, menggabungkan metodologi simulasi perangkat lunak dan teknik pemrograman sistem. Salah satu solusi perangkat lunak yang digunakan adalah MatLab, sebuah program perangkat lunak yang dikembangkan oleh Mathworks, Inc., yang menyediakan berbagai kotak alat yang dirancang khusus untuk meningkatkan aktivitas komputasi. Simulink adalah aplikasi perangkat lunak yang dirancang dan dikembangkan secara khusus untuk tujuan utama memfasilitasi simulasi (Sukamta, 2010).

Sensor Kecepatan RPM (Encoder)

Encoder adalah jenis perangkat elektromekanis yang memiliki kemampuan untuk memantau dan menentukan gerakan dan lokasi. Encoder biasanya menggunakan sensor optik untuk mengirimkan urutan pulsa yang menyampaikan informasi yang berkaitan dengan gerakan, lokasi, dan arah. Encoder rotasi mampu mengubah posisi sudut poros bodi yang berputar menjadi kode digital, yang kemudian dapat ditransmisikan ke sirkuit kontrol. Pemanfaatan encoder umumnya diamati dalam pengukuran kecepatan motor (Ramadani, 2021).

Inverter 3 Fasa

Rangkaian yang diilustrasikan pada Gambar 4 mewakili rangkaian inverter tiga fasa yang dirancang untuk mengubah catu daya arus searah (DC) menjadi daya arus bolak-balik (AC) yang terdiri dari tiga fasa. Biasanya, merupakan praktik umum untuk menggunakan Silicon Controlled Rectifiers (SCRs) atau Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) yang diatur dalam konfigurasi jembatan.



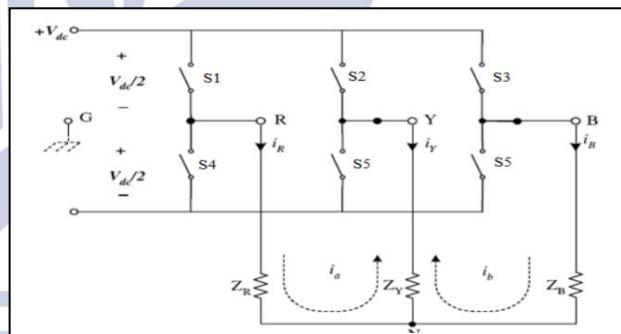
Gambar 4. Inverter 3 fasa
(Sumber: R. Krishnan, 2001)

Mekanisme operasional inverter satu fasa menunjukkan kesamaan dengan inverter tiga fasa. Penggunaan mekanisme kontrol dan sakelar elektronik yang dilengkapi

kontrol frekuensi memberikan manfaat yang signifikan dalam proses konversi listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak-balik (AC). Perlunya pengoperasian sakelar elektronik secara simultan dapat dipertanyakan karena kemungkinan interferensi.

Dalam situasi khusus ini, sangat penting untuk mengoordinasikan inisiasi sakelar elektronik secara akurat, seperti Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) atau Silicon-Controlled Rectifier (SCR), dengan perpindahan fasa 120 derajat untuk menghasilkan tiga fasa bentuk gelombang arus bolak-balik sebagai output yang dihasilkan. Aturan berikut dapat digunakan untuk menentukan urutan aktivasi sakelar elektronik :

1. Saklar S2, S3 dan S4 OFF sedangkan S1, S5 dan S6 ON
2. Saklar S3, S4 dan S5 OFF sedangkan S6, S2 dan S1 ON
3. Saklar S1, S3 dan S5 OFF sedangkan S2, S4 dan S6 ON
4. Saklar S1, S5 dan S6 OFF sedangkan S4, S2 dan S3 ON
5. Saklar S1, S2 dan S6 OFF sedangkan S5, S4 dan S3 ON
6. Saklar S2, S3 dan S6 OFF sedangkan S1, S3 dan S5 ON
7. Saklar S1, S2 dan S3 OFF sedangkan S4, S5 dan S6 ON
8. Saklar S4, S5 dan S6 OFF sedangkan S1, S2 dan S3 ON



Gambar 5. Rangkaian Inverter
(Sumber : R. Krishnan, 2001)

Gambar 5 mengilustrasikan produksi bentuk gelombang arus bolak-balik (AC) tiga fasa dengan manipulasi pengaturan penyalakan sakelar elektronik, yang telah disetel dengan tepat hingga 1200 langkah. Namun, pembangkitan energi panas melalui gelombang persegi membuatnya kurang ideal untuk menyalakan perangkat listrik.

Bentuk sinusoidal adalah karakteristik yang menentukan bentuk gelombang terbaik untuk arus bolak-balik (AC) dalam sistem fase tunggal dan tiga fase. Untuk mencapai tujuan ini, sangat penting untuk mengintegrasikan sirkuit tambahan, seperti Modulator Lebar Pulsa (PWM), ke dalam sistem.

METODE

Studi penelitian ini menggunakan serangkaian prosedur untuk mengoptimalkan efisiensi penggerak konveyor untuk motor tiga fasa dengan memanfaatkan kontrol proporsional-integral-derivatif (PID). Umumnya, metode ini melibatkan penilaian alat dan pembuatan alat menggunakan MATLAB. Grafik yang disajikan menggambarkan urutan perkembangan dari tahap awal hingga tahap akhir dari proses penelitian:



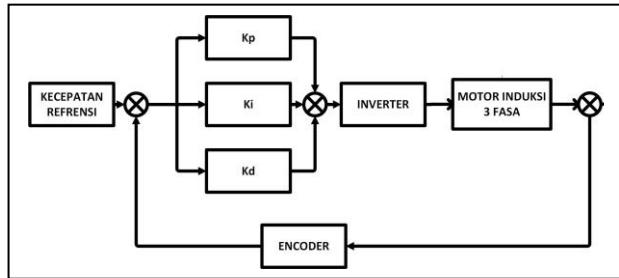
Gambar 6. Flowchart Langkah-Langkah Penelitian

Studi Literatur

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis berbagai bahan referensi yang berkaitan dengan teori motor induksi tiga fasa, seperti yang diteliti dalam penyelidikan ilmiah sebelumnya. Analisis literatur juga menemukan keterbatasan dalam pemanfaatan motor induksi tiga fasa sebagai mekanisme penggerak konveyor. Oleh karena itu, penerapan kontrol PID penting untuk mencapai titik setel yang diinginkan untuk kinerja kecepatan motor induksi tiga fasa pada penggerak konveyor.

Desain Sistem

Skema yang disajikan pada Gambar 8 mengilustrasikan status perencanaan dan pemodelan sistem saat ini, khususnya yang berkaitan dengan penerapan kontrol PID pada inverter untuk kontrol motor. Sistem kontrol putaran mesin dimodelkan dengan menggunakan inverter yang dilengkapi dengan kontroler proporsional-integral-derivatif (PID). Implementasi kontrol frekuensi yang dapat diatur digunakan dalam pengoperasian motor hubung singkat tiga fasa. Kecepatan motor dibandingkan dengan kecepatan referensi yang ditentukan sebelumnya, dan perbedaan yang dihasilkan diberikan sebagai umpan balik ke kontroler proporsional-integral-derivatif (PID).



Gambar 7. Desain Sistem

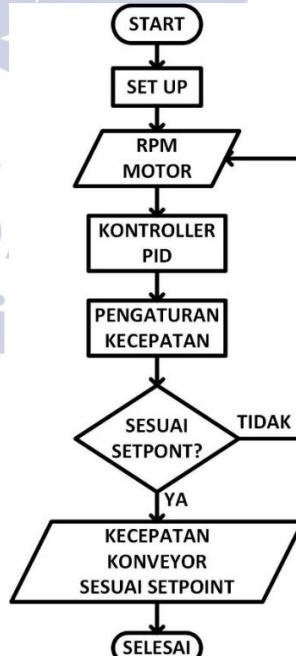
Di laboratorium yang didedikasikan untuk kontrol dan sistem kontrol, motor induksi 3 fasa digunakan sebagai penggerak konveyor, dengan spesifikasi pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi motor

Paremeter	Nilai
Daya	22 / 26 W
Frekuensi	50 / 60 Hz
Kecepatan	2600 / 3100 rpm
Jumlah kutub	2
Voltage	400 / 230 V
Current	0,1 / 0,17 A
Temperature	100°C Max

Rancang Bangun Software

MatLab, program perangkat lunak yang dibuat oleh Mathworks, Inc., termasuk Simulink, alat khusus yang dirancang untuk tujuan simulasi. Penggunaan kontrol PID dalam perangkat lunak simulasi berhasil meningkatkan efisiensi pengoperasian motor induksi 3 fasa yang berfungsi sebagai penggerak konveyor.



Gambar 8. Rancang Bangun Software

Inisiasi Gambar 8 melibatkan pembentukan set point yang dimaksud. Pulsa RPM yang dihasilkan oleh sensor putaran yang terpasang pada motor digunakan oleh

pengontrol PID setelah aktivasi motor. Perhitungan pulsa ini dicapai dengan pemanfaatan pendekatan penyetelan Aturan Ziegler-Nichols, yang memfasilitasi kemampuan untuk memberikan umpan balik untuk tujuan mengatur dan menyesuaikan kecepatan motor. Jika nilai yang diamati menyimpang dari titik setel yang ditentukan, prosedur iteratif berlanjut hingga titik setel yang diinginkan tercapai.

Tahap Pengujian

Setelah menyelesaikan desain dan implementasi selanjutnya, hasil yang dihasilkan dapat dinilai melalui pemeriksaan motor enkoder secara menyeluruh. Selama langkah berikutnya, data dikumpulkan untuk tujuan pengujian. Jika kecepatan motor induksi tiga fasa menyimpang dari titik setel yang ditetapkan, akan sangat penting untuk mengulangi proses desain dan menerapkan modifikasi yang diperlukan pada mekanisme kontrol PID..

Analisis dan Pembahasan

Setelah selesainya tahap pengujian sistem pada alat, dilakukan analisis dan pembahasan mengenai peningkatan unjuk kerja pada motor tiga fasa, khususnya sebagai penggerak conveyor, dengan menggunakan kontrol PID. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penerapan kontrol proporsional-integral-derivatif (PID) dalam rangka meningkatkan efisiensi operasional motor tiga fasa yang digunakan sebagai penggerak conveyor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Simulasi

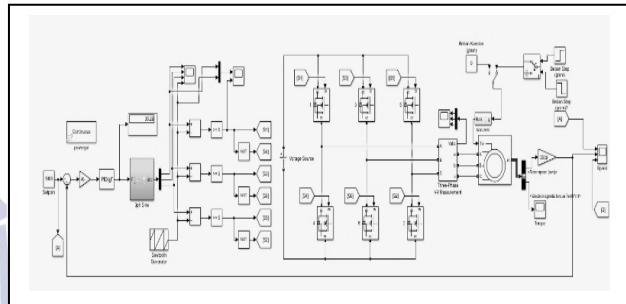
Investigasi saat ini memerlukan pemanfaatan simulasi yang menggunakan blok parameter unit SI mesin asinkron di MATLAB R2022A. Komputasi yang dilakukan di MATLAB menghasilkan parameter yang digunakan dalam blok parameter unit SI mesin asinkron di dalam Simulink terdapat pada Tabel 4..

Tabel 4. Spesifikasi motor pada simulink

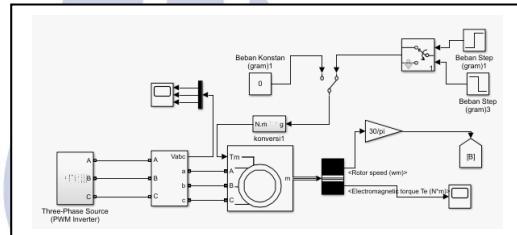
Parameter	Nilai
Nominal power	26 W
Voltage	230 V
Frequency	60 Hz
Speed	3600 rpm
Jumlah kutub	2
Arus (I)	0,17 A
Stator Resistance (Rs)	138,2300 ohm
Stator Inductance (Ls)	0,00013790 H
Rotor Resistance (Rr')	286,1364 ohm
Rotor Inductance (LIr')	2,5435 H
Mutual Inductance (Lm)	18,3191 H
Inertia (J)	0,0000206 kg.m^2

Teknik pengambilan sampel digunakan dalam pemodelan sistem dalam dua kondisi berbeda: saat motor beroperasi di bawah beban dan saat beroperasi tanpa beban. Sistem

menggunakan sinyal kesalahan, yang berasal dari perbedaan antara kecepatan referensi (setpoint) 1800 rpm dan kecepatan aktual motor dalam situasi bongkar muat, sebagai input. Sensor enkoder yang terletak di motor bertanggung jawab untuk mendeteksi dan menginterpretasikan sinyal kesalahan. Grafik yang disajikan menggambarkan sistem pada Gambar 9 dan Gambar 10



Gambar 9. Sistem menggunakan kontrol PID

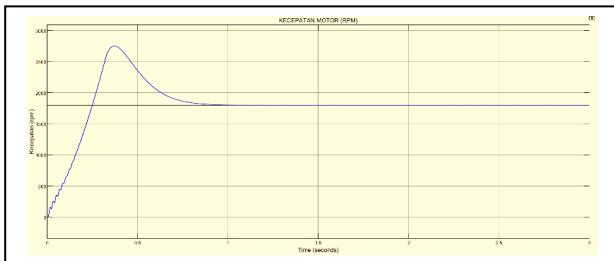


Gambar 10. Sistem tanpa menggunakan kontrol PID

Perancangan Kontrol PID

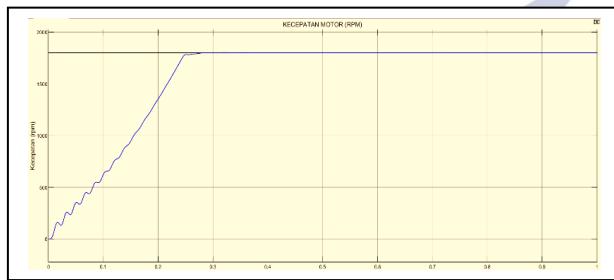
Metode Ziegler-Nichols Tipe 2 adalah pendekatan yang digunakan secara luas untuk penentuan parameter proporsional, integral, dan turunan dari pengontrol PID. Tujuan dari strategi ini adalah untuk memenuhi standar kinerja yang telah ditetapkan sebelumnya, memungkinkan sistem untuk mencapai target yang diinginkan.

Eksperimen ini menggunakan titik 1800 putaran per menit (rpm) yang telah ditentukan sebelumnya sebagai referensi untuk kecepatan motor, memotivasi motor untuk bekerja mencapai titik setel ini. Variabel Kcr menunjukkan parameter proporsional yang mendekati titik di mana respons menunjukkan osilasi yang stabil. Sebaliknya, Pcr menunjukkan durasi temporal yang diperlukan sistem untuk menyelesaikan osilasi lengkap, biasanya disebut sebagai periode. Selanjutnya, pastikan nilai gain kritis (Kcr) dan periode kritis (Pcr), dan selanjutnya mulai perhitungan menggunakan metodologi penyetelan Ziegler Nichols 2. Nilai yang dialokasikan untuk parameter proporsional adalah 69, nilai yang diberikan untuk parameter integral adalah 418,18, dan nilai yang diberikan untuk parameter turunan adalah 2,84625. Keluaran yang dihasilkan merupakan hasil inisiatif percobaan yang memanfaatkan proses Ziegler-Nichols pada Gambar 11.



Gambar 11. Respon motor metode *Ziegler-nichols*

Setelah parameter K_p, K_i, dan K_d diperoleh, masing-masing parameter dilakukan tweaker tambahan melalui eksperimen berulang hingga diperoleh hasil yang memuaskan.



Gambar 12. Respon motor metode Trial and eror

Metode iteratif melibatkan pengujian nilai-nilai alternatif K_p, K_i, dan K_d sebagai parameter untuk mencapai kinerja kontrol PID yang optimal. Respon motor yang diilustrasikan pada Gambar 12 menghasilkan gain proporsional (K_p) sebesar 69, gain integral (K_i) sebesar 7,4, dan gain turunan (K_d) sebesar 0,3.

Hasil penilaian percobaan desain kontrol proporsional-integral-derivative (PID) ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Respon motor pada perancangan control PID

Parameter	Ziegler Nichols	Trial and eror
Overshoot	52,7%	0%
Rise Time	0,248 S	0,285 S
Settling time	1,157 S	0,391 S
Eror steady state	0%	0%

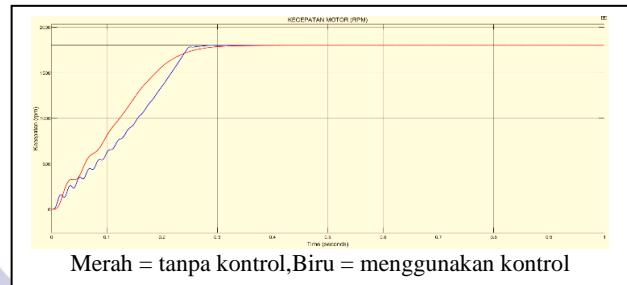
Penelitian dilakukan dengan menggunakan teknik Trial and Error dan Ziegler Nichols. Hasil menunjukkan bahwa sistem menggunakan metodologi Trial and Error, menggabungkan kriteria tertentu. Nilai parameter K_p, K_i, dan K_d masing-masing adalah 69, 7,4, dan 0,3.

Pengujian Sistem dan Hasil Simulasi

Eksperimen ini bertujuan untuk menggambarkan respons kecepatan motor secara visual, diukur dalam putaran per menit (rpm), di bawah dua pengaturan berbeda. Kondisi pertama melibatkan penerapan kontrol proporsional-integral-derivatif (PID) biru, sedangkan kondisi kedua tidak memiliki kontrol merah. Kecepatan motor harus

ditetapkan pada nilai yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 1800 putaran per menit (rpm).

Pengujian pertama dilakukan dengan beban nol selama 1 detik. Hasil respon motor akan ditunjukkan pada Gambar 13.



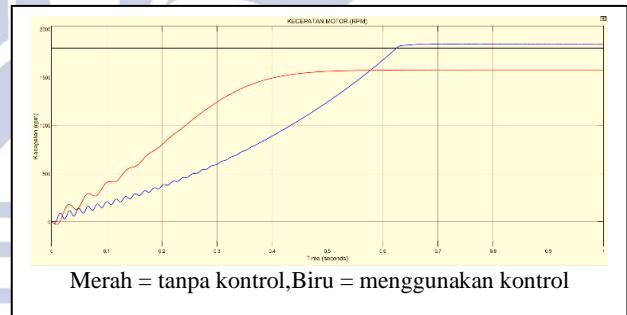
Gambar 13. Respon pengujian tanpa beban

Hasil respon pengujian tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil respon pengujian tanpa beban

Parameter	Kontrol	Tanpa kontrol
Overshoot	0%	0%
Rise Time	0,285 S	0,403 S
Settling time	0,391 S	0,403 S
Eror steady state	0%	0%

Eksperimen kedua dilakukan dengan menggunakan beban 100 gram dengan durasi 1 detik. Hasil respon motorik akan digambarkan pada Gambar 14.



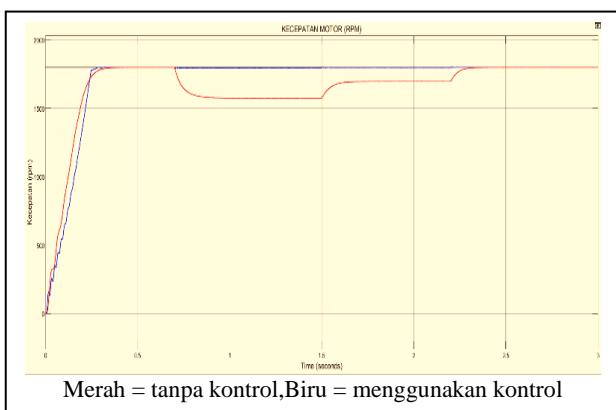
Gambar 14. Respon pengujian dengan beban

Hasil respon pengujian tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil respon pengujian tanpa beban

Parameter	Kontrol	Tanpa kontrol
Overshoot	2,3 %	0
Rise Time	0,625 S	Belum mencapai set point
Settling time	0,686 S	0,670 S
Eror steady state	2,278%	12,5%

Eksperimen ketiga dilakukan dengan tidak adanya beban awal, diikuti dengan penerapan beban 100 gram pada 0,7 detik, beban 50 gram pada 1,5 detik, dan pemulihannya ke keadaan bebas beban dalam durasi pengujian 3 detik. Hasil respon motor akan ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Respon Pengujian dengan beban berubah

Hasil respon pengujian tanpa beban disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil respon pengujian tanpa beban

Parameter	Error Steady State	Rise Time	Settling Time	Over Shoot
Controller 0 - 0,7 s	0%	0,288 s	0,391 s	0%
Controller 0,7 - 1,5 s	0,16%	Belum set point	0,743 s	0%
Controller 1,5 - 2,2 s	0,05%	Belum set point	1,530 s	0,11%
Controller 2,2 - 3 s	0%	2,2 s	2,215 s	0,22%
Tanpa controller 0 - 0,7 s	0%	0,406 s	0,421 s	0%
Tanpa controller 0,7 - 1,5 s	12,33%	Belum set point	0,983 s	0%
Tanpa controller 1,5 - 2,2 s	5,66%	Belum set point	1,702 s	0,11%
Tanpa controller 2,2 - 3 s	0%	2,369	2,376 s	0%

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan yang ditarik didasarkan pada penelitian ekstensif dan pengujian ketat yang dilakukan:

- Desain simulasi dijalankan menggunakan perangkat lunak Matlab R2022A, menggunakan alat Simulink yang khusus dikembangkan untuk aplikasi simulasi. Proses penentuan nilai gain kontroler Kp, Ki, dan Kd dalam parameter kontrol PID memerlukan penggunaan metodologi trial and error. Input ke sistem diberikan berupa nilai setpoint 1800 rpm yang digunakan untuk kontrol PID. Error pada sistem kontrol ini ditentukan dengan membandingkan kecepatan putar aktual motor induksi tiga fasa dengan nilai setpoint. Keluaran sistem, berasal dari motor induksi

tiga fasa, dihitung dalam kaitannya dengan kecepatan dan torsinya.

- Mekanisme kontrol PID digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor induksi tiga fasa, khususnya dalam kerangka sistem penggerak konveyor. 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, sedangkan parameter Kd digunakan untuk menipiskan overshoot dan settling time. Selain itu, parameter Ki digunakan untuk mengurangi waktu naik dan ketidakaktepatan kondisi tunak, seperti yang ditemukan melalui pengujian eksperimental yang dilakukan pada sistem.
- Sistem menjalani pengujian di bawah beban 100 gram (setara dengan 0,0098 Newton-sentimeter) dengan kontrol PID. Temuan eksperimental menunjukkan overrun 2,3%, waktu naik 0,625 detik, waktu penyelesaian 0,686 detik, dan kesalahan kondisi mapan 2,278%. Hasil percobaan yang diperoleh dengan tidak adanya pengontrol menunjukkan nilai Overshoot 0, yang menunjukkan bahwa sistem tidak melebihi titik setel yang diperlukan. Namun, waktu Rise belum mencapai titik setel yang ideal. Pengukuran Settling Time menghasilkan nilai 0,670, sedangkan penentuan Steady State Error menghasilkan nilai 12,5%. 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

Berdasarkan temuan di atas, disarankan agar rekomendasi berikut diusulkan untuk memperbaiki sistem dan mencapai hasil yang lebih ideal:

- Kemungkinan untuk meningkatkan sistem kontrol kecepatan terletak pada penggunaan metode kontrol alternatif seperti PI, PD, fuzzy, dan fuzzy-PID. Metode ini menawarkan kesempatan untuk mengoptimalkan hasil secara lebih luas.
- Desain dan penerapan sistem kontrol motor induksi untuk digunakan sebagai penggerak konveyor dapat diimplementasikan secara efektif dalam lingkungan industri nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanto. 2020. *Metode Kontrol Skalar dengan Penilaian Parameter PID Otomatis Menggunakan Algoritma PSO Sebagai Pengendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis LabView*. Jurnal Sains Terapan VOL. 6 NO.1 2020.
- Ardana. 2008. *Simulasi Sistem Kontroler Pid Untuk Motor Induksi Menggunakan Perangkat Lunak Matlab / Simulink*. Bali : Politeknik Negeri Bali.
- Baroroh. 2022. *Sistem Kendali Kecepatan Putaran Motor DC pada Conveyor dengan Metode Kontrol PID*. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Ferdiansyah. 2015. *Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3φ dengan Kontrol PID melalui Metode Field Oriented Control (FOC) (Rectifier, Inverter, Sensor arus dan Sensor tegangan)*. Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS.
- Fikri. 2019. *Sistem Pengaturan Pid Motor Dc Sebagai Penggerak Mini Conveyor Berbasis Matlab*. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Mahmud. 2020. *Control BLDC Motor Speed using PID Controller*. Kuala Lumpur : Department of Electrical and Computer Engineering International Islamic University Malaysia.
- Mauludin. 2014. *Simulasi Kontrol Pid Untuk Mengatur Putaran Motor Ac*. Semarang : Universitas Wahid Hasyim.
- Ogata. 1985. *Modern Control Engineering Fourth Edition*. Pearson Education International. Pearson Education, Inc.
- Ogata. 2010. *Modern Control Engineering Fifth Edition*. Pearson Education, Inc..
- Parekh, Rakesh. 2003. *AC Induction Motor Fundamentals*. Microchip Technology Inc, AN887.
- Krishnan. R. 2001. *Electric Motor Drives Modeling, Analysis, and Control*. Virgina Tech, Blacksburg,VA.
- Ramadani. 2021. *Implementasi Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler Pid*. Tarakan : Universitas Borneo.
- Sukamta. Sri. 2010. *Perancangan Kendali Pid Dengan Matlab*. Jurnal Teknik Elektro Vol. 2 No.1.
- Suyono. 2020. *Analisis Kendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa dengan Metode Direct Torque Control (DTC) Berbasis PID Kontrol*. Jurnal ECOTIPE, Volume 7, No.2, Oktober 2020, Hal. 70-77
- Usha. 2021. *Performance enhancement of BLDC motor using PID controller*. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS).