

SISTEM KENDALI TEKANAN UDARA PADA KOMPRESOR DENGAN PENGATURAN KECEPATAN MOTOR 3 FASA

Muhamad Aji Setiawan¹, Indra Riyanto²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur
Jakarta, Indonesia

¹ elmirr26setiawan@gmail.com, ² indra.riyanto@budiluhur.ac.id

ABSTRAK

Tujuan tugas akhir ini adalah mengendalikan tekanan udara (pressure) sehingga dapat terkendali menggunakan kontrol PI dengan cara mengatur kecepatan motor 3 fasa. Sehingga dapat diaplikasikan langsung pada industri painting. Pada tugas akhir ini dibahas mengenai Sistem Kendali Tekanan Udara Pada Kompresor Dengan Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pengendali Proportional, Integral (PI), metode pengendali dan pengaturan untuk mendapatkan parameter kontrol Kp dan Ki berdasarkan metode Trial And Error. Inverter dengan type Unidrive M200-022 00075 A 1,5 kW base 0,75 kW 100-400 VAC sebagai pengendali arus dan tekanan udara (pressure). Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai kendali utama untuk memproses perhitungan algoritma kontrol PID. Sensor tekanan udara yang digunakan pressure transmitter DC 5V 0-174 Psi/1.2MPa mendeteksi tekanan udara yang ditempelkan pada bodi mesin kompresor 3 fasa. Satu unit kompresor piston jaguar sebagai mesin untuk memproses udara bertekanan. Motor sinkron 3 fasa 220v/380v 2HP sebagai motor penggerak piston pada kompresor. Pengujian dilakukan dengan menggunakan motor sinkron 3 fasa 2 HP dan dilakukan dengan menggunakan beban dan tanpa beban, dengan setpoint tekanan 6 bar. Pada pengujian keseluruhan parameter PI yang digunakan dapat menghasilkan tekanan pada steady state 5,89 bar dari setpoint sebesar 6 bar, pada nilai kp = 250 dan ki = 100 dengan setling time sebesar 113,6 detik.

Kata kunci: Sistem Kendali Tekanan Udara; Kompresor Angin 3 Fasa; Pressure Transmitter; Inverter Unidrive M200 base; Arduino Mega 2560

ABSTRACT

The purpose of this final project is to control air pressure (pressure) so that it can be controlled using PI control by adjusting the motor speed of 3 phase. So that it can be applied directly to the painting industry. In this final project discussed about the Air Pressure Control System in Compressors with 3 Phase Motor Speed Settings. The method used in this study uses Proportional, Integral (PI) controllers, control methods and settings to obtain Kp and Ki control parameters based on the Trial And Error method. Inverter with Unidrive M200-022 00075 type 1.5 kW base 0.75 kW 100-400 VAC as controlling current and air pressure (pressure). Arduino Mega 2560 microcontroller as the main control for processing PID control algorithm calculations. The air pressure sensor used by DC 5V 0-174 Psi / 1.2MPa pressure transmitter detects the air pressure affixed to the 3-phase compressor engine body. One jaguar piston compressor unit as a machine for processing compressed air. The 3 phase synchronous motor 220v / 380v 2HP as the piston driving motor on the compressor. Tests were carried out using 3 phase synchronous motor 2 HP and carried out using load and no load, with a pressure setpoint of 6 bar. In testing the overall PI parameters used can produce a pressure at steady state 5.89 bar from a setpoint of 6 bars, at a value of kp = 250 and ki = 100 with a set time of 113.6 seconds.

Keywords: Air Pressure Control System; 3 Phase Air Compressor; Pressure Transmitter; Inverter Unidrive M200 base; Arduino Mega 2560

I. PENDAHULUAN

Kompresor angin 3 fasa banyak berperan dalam perkembangan industri dan membawa pembaharuan disegala bidang. Bermacam-macam kompresor angin yang telah dibuat dan dijalankan dengan berbagai macam pilihan daya motor listrik. Kompresor angin 3 fasa terdapat berbagai type pengaturan tekanan udara (*pressure*). Dimana tekanan udara tersebut berhubungan langsung dengan *line* produksi atau mesin produksi. Saat mesin produksi berkerja, kemungkinan terjadinya beban lebih akibat kebutuhan produksi yang bertambah karena setting atau kontrol langsung terhadap tekanan *pressure* sering kali terabaikan. Selama ini, jenis kompressor 3 fasa dengan pengendali *PI (Proportional Integral)* sangat jarang ditemukan. Karena jenis kontrol yang ada dipasaran lebih spesifik pada jenis gangguan tertentu saja. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibuat alat yang dapat mengendalikan tekanan udara pada kompresor dengan pengaturan kecepatan motor 3 fasa.

Dari hasil penelitian Rancang Bangun Sistem Kontrol Level dan *Pressure Steam Generator* pada Simulator *Mixing Process* di *Workshop Instrumentasi* [1], penelitian ini membahas tentang pengendalian *steam generator* pada proses pencampuran dalam industri. *Steam generator* yang dibuat memiliki dua pengendalian, yaitu pengendalian level dan pengendalian *pressure*. Pengendalian level disini digunakan metode *on-off*, sedangkan untuk pengendalian *pressure* digunakan metode PID. Untuk pengendalian PID dilakukan 2 jenis tuning, yaitu *trial error* dan *Ziegler Nichols*. Setelah melakukan penalaan nilai K_p , T_i , dan T_d untuk sistem ditentukanlah nilai K_p sebesar 0,1, nilai T_i sebesar 2,4, dan nilai T_d sebesar 2. Penerapan metode PID pada sistem kontrol *pressure* menghasilkan respon yang cukup baik. Kriteria performansi sistem *pressure* menghasilkan maksimum *overshoot* 14.2% dan nilai *settling time* sebesar 25 detik.

Pada perancangan Bangun Sistem Kontrol Pada Kompresor Tekanan Udara Sebagai Pengisi Udara Untuk Ban Kendaraan [2], memanfaatkan fungsi dari inverter satu fase untuk mengontrol kecepatan putaran motor. Metode yang dipakai yaitu *single phase full bridge inverter* dengan menggunakan metode switching SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*). *Input* tegangan inverter berasal dari *rectifier* (tegangan jala-jala yang disearahkan). Frekuensi tegangan output inverter dapat diatur (*variable*) melalui program dari mikrokontroler berdasarkan pembacaan sensor. Pulsa keluaran dari mikrokontroler sebagai drive IGBT tidak langsung dihubungkan dengan IGBT tetapi melalui rangkaian optocoupler. Proses pengisian tekanan ban kendaraan menjadi lebih efisien disebabkan pada saat proses pengisian tekanan ban kendaraan hanya dilakukan satu kali dan tidak membutuhkan ulangan. Apabila setting tekanan 30 psi maka tekanan pada ban adalah 31, 5 psi. Diperoleh selisih

tekanan *setting point* dengan tekanan pada ban adalah 1,5 psi.

Dari penelitian Pengaturan Tekanan Pada Sistem Homogenisasi Susu Dengan Kontroler PID Berbasis Arduino UNO [3], dalam proyek ini Homogenisasi susu adalah suatu proses dimana butiran - butiran atau globula - globula lemak pada susu dipecah menjadi globula-globula yang lebih kecil yang berukuran 2μ atau kurang. Sistem homogenisasi susu dimaksudkan untuk menghindari terbentuknya lapisan krim yang terjadi bila air susu didiamkan. Cara kerja dari alat homogenisasi adalah dengan menekan susu pada tekanan yang tinggi dan melewatkannya pada sebuah lubang yang lebih kecil dari globula - globula lemak awal. Pada penelitian ini digunakan kontroler PID berbasis Arduino Uno untuk mengatur tekanan pada sistem homogenisasi susu. Dalam proses pengendalian tekanan, Arduino Uno yang sudah dikontrol dengan PID akan mengendalikan *Variable Speed Drive (VSD)* dan VSD akan menggerakkan motor induksi yang ada di dalam pompa. Pada penelitian ini pemodelan sistem menggunakan teori pertama metode *Ziegler-Nichols* dan didapatkan nilai parameter $K_p = 1,91$, $K_i = 0,62$, dan $K_d = 1,48$. Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan MPX5700AP. Pada proses ini akan diberikan setpoint berupa tekanan sebesar 3 Bar.

Pada perancangan Sistem Pengaturan Tekanan Pada *Shutdown Valve* Untuk Antisipasi Kebakaran Berbasis Pneumatic Menggunakan Mikrokontroler Atmega 328 [4], dalam jurnal ini membahas *Shutdown valve* yang dirancang dan digerakkan untuk menghentikan aliran fluida hidrokarbon ataupun gas yang mendeteksi adanya peristiwa berbahaya. *Shutdown valve* memiliki referensi standar internasional dalam hal kebocoran (*leakage*). Pada kajian skripsi ini dilakukan suatu penanganan khusus yaitu dengan cara mendeteksi adanya potensi kebakaran kemudian secara otomatis kontroler akan *on* dan *valve* akan melakukan proses menutup selama 6 detik (CNOOC, 2012) melalui pengaturan tekanannya dan menguji kebocoran *valve* yang tertutup berbasis *pneumatic* menggunakan arduino ATmega 328. Berdasarkan hasil percobaan didapatkan nilai PWM yang tepat untuk mendekati waktu yang diinginkan adalah 50 kemudian dikonversi menjadi nilai besaran tekanan. Pengujian dilakukan dengan 3 macam cara yaitu tanpa *disturbance*, debit air $10\text{m}^3/\text{menit}$, dan debit air $17\text{m}^3/\text{menit}$ serta memiliki nilai error sebesar 1.66, 8.33, 11.66%.

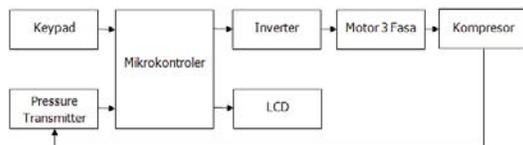
Hasil penelitian tentang kontrol arus sinkron motor induksi 3 fasa dengan menggunakan kompensasi CEMF [5], menunjukkan bahwa kontrol arus sinkron dapat memperbaiki respon *steady state*. Total distorsi harmonik pada arus input motor induksi ketika menggunakan HB controller adalah sebesar 41,44% sedangkan arus input motor induksi ketika menggunakan *synchronous current control* adalah 11,61%. Hal tersebut menunjukkan

bahwa pengontrolan arus sinkron dapat meningkatkan kinerja dari mesin.

Berdasarkan referensi jurnal tersebut maka dalam tugas akhir ini diterapkan Sistem Kendali Tekanan Udara Pada Kompresor Dengan Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa. Alasan memilih judul ini karena masih banyaknya pengguna mesin kompresor 3 fasa pada industri pengecatan, sangat memerlukan pengendalian tekanan udara (*pressure*) pada saat sedang beroperasi. Dikarenakan pada saat proses pengecatan tekanan udara (*pressure*) harus relatif konstan agar supaya pengecatan sesuai dengan hasil yang diinginkan. Di tugas akhir ini dilakukan pengaplikasian kontroler *Proportional Integral* (PI) dalam pengaturan kecepatan motor dan kendali tekanan udara pada mesin kompresor 3 fasa. Dimana mikrokontroler Arduino akan mengeluarkan tegangan analog 0-5 Volt dalam bentuk nilai PWM. Nilai PWM ini merupakan masukan pada inverter untuk mengatur frekuensi tegangan 3 fasa yang terhubung pada motor. Frekuensi yang berubah-ubah ini menyebabkan kecepatan motor dapat diatur. Perubahan kecepatan motor sinkron 3 fasa bergantung dari frekuensi yang diberikan pada motor, yaitu apabila frekuensi yang diberikan rendah, maka kecepatan motor akan rendah, sebaliknya bila frekuensi yang diberikan tinggi, maka kecepatan motor akan tinggi. Kecepatan motor ini akan berpengaruh pada tekanan yang dihasilkan oleh mesin kompresor 3 fasa. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem kontrol yang dapat mengatur kecepatan motor dan mengendalikan tekanan udara (*pressure*) pada mesin kompresor 3 fasa agar stabil di setpoint yang diinginkan meskipun beban berubah-ubah. Sensor tekanan udara (*pressure transmitter*) digunakan sebagai pendeteksi nilai tekanan udara pada mesin kompresor 3 fasa.

II. PERENCANAAN SISTEM

Diagram blok sistem kendali kecepatan motor 3 fasa dan tekanan udara pada mesin kompresor angin ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Close Loop

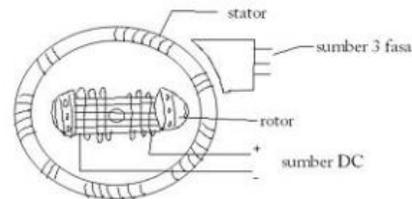
Bagian-bagian diagram blok diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Keypad*, digunakan untuk input setpoint tekanan yang diinginkan pada sistem.
2. *Pressure Transmitter*, merupakan sensor tekanan yang mengukur tekanan pada kompresor.

3. Mikrokontroler, digunakan sebagai pengendali pada sistem.
4. Inverter, digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor 3 fasa.
5. Motor 3 fasa, digunakan untuk penggerak piston kompresor untuk menghasilkan udara bertekanan.
6. Kompresor, digunakan sebagai plant yang tekanannya akan dikendalikan.
7. LCD, digunakan sebagai penampil parameter dari sistem.

A. Motor Sinkron

Motor Sinkron adalah motor AC tiga-fasa yang dijalankan pada kecepatan sinkron, tanpa slip yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus DC untuk pembangkitan daya dan memiliki torsi awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal untuk beban rendah seperti kompresor udara perubahan awal untuk beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu memperbaiki faktor daya sistem sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik. Gambar dari motor sinkron ditunjukkan pada Gambar 2.

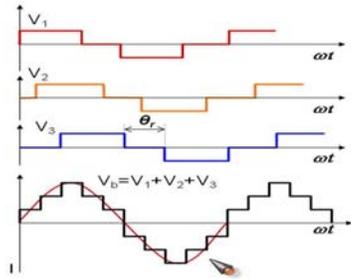


Gambar 2. Motor Sinkron

B. Teknik Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa

Kecepatan dari motor 3 fasa diatur dengan mengubah nilai frekuensi menggunakan inverter. Inverter merupakan suatu alat yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Besarnya frekuensi tegangan AC yang dihasilkan dari inverter dapat diatur sesuai keinginan. Dengan demikian, maka kecepatan motor akan berubah karena dipengaruhi oleh frekuensi yang berubah.

Pada dasarnya, inverter bekerja dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang dapat diatur. Terdapat beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengubah dari tegangan DC menjadi tegangan AC, cara paling sederhana adalah dengan mengatur waktu dan sudut penyalan inverter. Tegangan DC yang telah diatur sudut penyalannya selanjutnya dijumlahkan untuk mendapatkan tegangan AC yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik konversi dari DC ke AC

C. Kompresor

Kompresor adalah mesin yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan dapat memampatkan gas atau udara. Untuk menghasilkan tenaga, kompresor umumnya menggunakan motor listrik sebagai penggerakannya. Udara bertekanan yang dihasilkan kompresor biasanya diaplikasikan untuk penggerak sistem pneumatik, pegecatan dengan teknik air brush, ataupun mengisi angin pada ban. Bentuk fisik dari kompresor dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk Kompresor

Secara umum kompresor dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu kompresor perpindahan positif dan kompresor dinamis. Kompresor perpindahan positif dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kompresor piston (*recoprocating compressor*) dan kompresor putar (*rotary*). Kompresor dinamis dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu kompresor sentrifugal dan kompresor aksial.

D. Unidrive M200

Unidrive seri M dirancang khusus untuk pengaplikasian otomasi industri yang mudah digunakan dan sederhana. Unidrive merupakan jenis inverter yang dapat digunakan untuk *drive* motor 3 fasa. Terdapat banyak tipe dan variasi dari unidrive, tergantung dari besarnya tegangan input dan output yang dihasilkan, kapasitas motor, dan lain-lain. Salah satu tipenya adalah Unidrive M200. Bentuk dari Unidrive M200 dapat dilihat pada Gambar 5.

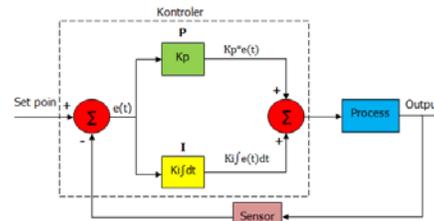


Gambar 5. Bentuk Unidrive M200

Unidrive M200 sendiri memiliki banyak tipe yang dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan. Ada yang menghasilkan tegangan 115 VAC, 230 VAC, dan 460 VAC dengan keluaran satu fasa ataupun tiga fasa. Dalam penelitian tugas akhir ini, tipe yang digunakan adalah Unidrive M200-022. Unidrive tipe M200-022 dapat mengendalikan motor AC 3 fasa 220 Volt dengan daya 1,5 kW.

E. Kontrol PI

Kontrol PI (*Proportional Integral*) merupakan teknik kendali yang bereaksi terhadap nilai error yang diberikan dari sensor, sehingga dapat memberikan nilai perbaikan (*feedback*) kepada nilai output. PI terdiri dari 2 komponen, yaitu proporsional, dan integratif. Kedua komponen ini dapat digunakan secara bersamaan ataupun sendiri-sendiri tergantung pada respon yang diinginkan pada suatu plant. Diagram blok kontrol PI ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram Blok Kontrol PI

1. Kontroler Proporsional

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding dengan besarnya nilai error yang didapatkan. Nilai tersebut didapatkan dari selisih antara besaran yang diinginkan dengan nilai aktual.

2. Kontroler Integral

Kontroler integral memiliki keluaran yang sebanding dengan jumlah dari nilai error yang terakumulasi.

Nilai error pada sistem didapatkan sebagai berikut:

$$error = setpoint\ tekanan - tekanan\ aktual$$

Sedangkan persamaan kontrol PI adalah:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

dengan :

$u(t)$ = sinyal keluaran pengendali PI

K_p = konstanta proporsional

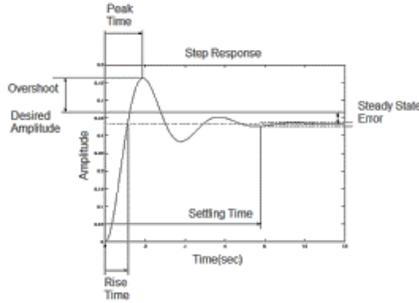
T_i = waktu integral

K_i = konstanta integral

$e(t)$ = sinyal kesalahan ($e(t)$ = referensi – keluaran plant)

Jenis kontrol yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah menggunakan kontrol PI (proporsional integral). Pada sistem kontrol, terdapat beberapa

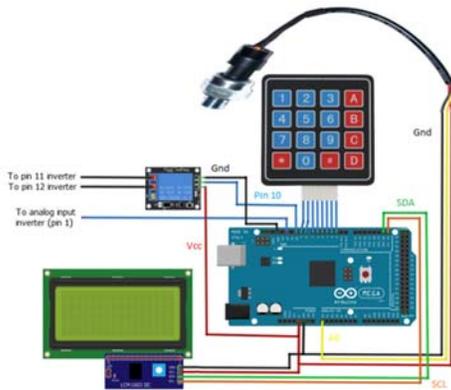
parameter yang penting dan diperhatikan, yaitu rise time, overshoot, settling time, dan steady state error. Rise time merupakan waktu yang dibutuhkan oleh plant untuk mencapai 90% dari nilai setpoint. Overshoot adalah besarnya peak level yang melebihi nilai steady state. Settling time adalah waktu yang diperlukan sistem untuk memasuki 5% atau 2% dari keadaan *steady state*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Respon Sistem

F. Rangkaian Mikrokontroler

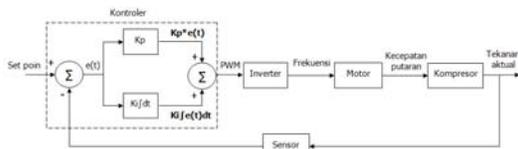
Rangkaian mikrokontroler merupakan rangkaian pada mikrokontroler secara keseluruhan dengan komponen *input/output*. Rangkaian mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Mikrokontroler

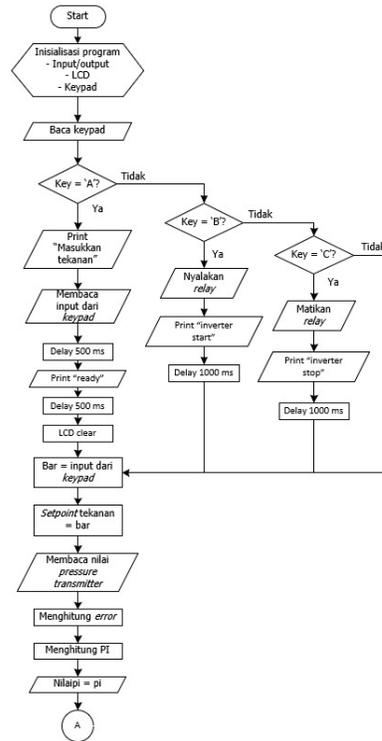
G. Algoritma Program

Perancangan perangkat lunak merupakan perancangan kontrol PI pada sistem. Kontrol PI merupakan salah satu jenis kontrol PID (*proportional Integral Derivative*) yang hanya menggunakan dua komponen kontrol, yaitu proporsional dan integratif. Struktur PI kontroler dapat ditunjukkan pada Gambar 9.

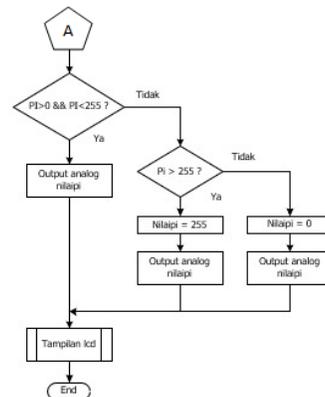


Gambar 9. Struktur PI Kontroler

Diagram alir program ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Diagram Alir Program



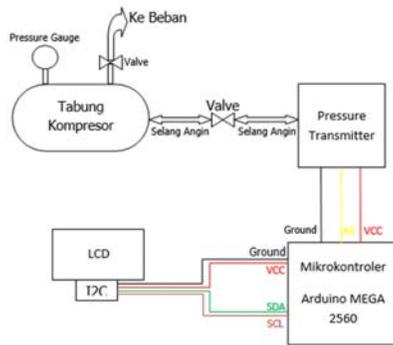
Gambar 11. Diagram alir program

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Pressure

Pengujian sensor *pressure* dilakukan untuk mendapatkan nilai tekanan yang ada pada kompresor angin dengan menggunakan arduino mega 2560. Cara pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan sensor tekanan pada keluaran kompresor angin, lalu tekanan kompresor dinaikkan dari keadaan kosong hingga bertekanan 8 bar. Tekanan yang dihasilkan oleh kompresor dibaca dengan menggunakan *pressure gauge* yang

terdapat pada kompresor untuk mengetahui tekanan sebenarnya. Tegangan keluaran sensor pressure sebesar 0,5 volt hingga 4,5 volt dibaca oleh mikrokontroler berupa nilai ADC. Rangkaian pengujian sensor pressure adalah dengan menghubungkan sensor pressure ke arduino mega 2560 seperti yang terlihat pada Gambar 12, sedangkan tabel hasil pengujian sensor pressure ditunjukkan pada Tabel 1.

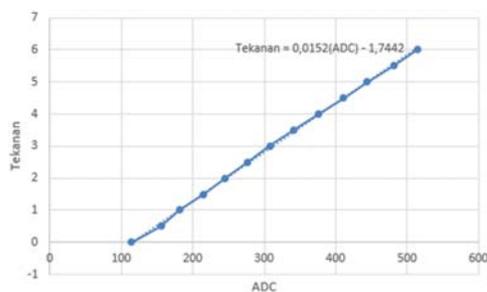


Gambar 12. Rangkaian pengujian Sensor pressure

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor pressure

Tekanan di pressure gauge kompresor (bar)	Nilai ADC yang terbaca mikrokontroler	Nilai tekanan yang dihitung oleh mikrokontroler (bar)	Error (%)
0	114	0	0,00
0,5	156	0,63	26,00
1	181	1,01	1,00
1,5	215	1,52	1,33
2	245	1,98	1,00
2,5	277	2,47	1,20
3	308	2,94	2,00
Rata-rata error			2,86

Hasil pengujian dapat ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan antara nilai ADC dengan tekanan yang ada pada kompresor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik hubungan nilai ADC dengan Tekanan kompresor

Persamaan pada grafik tersebut adalah $tekanan=0,0152(ADC)-1,7442$. Persamaan inilah

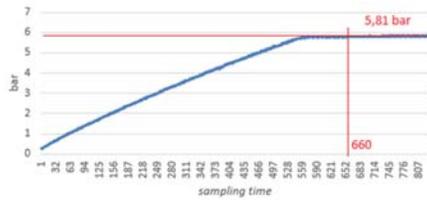
yang digunakan oleh mikrokontroler untuk mengkonversikan nilai ADC menjadi nilai tekanan dengan rata-rata nilai error sebesar 2,86 %.

B. Tuning Parameter PI

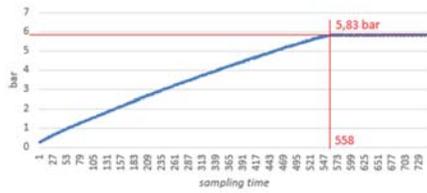
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter PI, yaitu k_p dan k_i . Peralatan yang digunakan adalah motor sinkron 3 fasa, inverter, mikrokontroler, relay, kompresor, *pressure transmitter*, serta *keypad* sebagai *input setpoint* tekanan yang parameter pengujiannya ditampilkan pada LCD. Cara *tuning* parameter PI dilakukan dengan cara menghubungkan motor penggerak kompresor pada inverter yang menerima sinyal kontrol PI berbentuk nilai PWM dari mikrokontroler. Nilai *setpoint* tekanan yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler adalah sebesar 6 bar melalui keypad.

Tuning parameter PI pada tugas akhir ini dilakukan dengan metode *trial and error*. Pada metode ini, proses tuning dilakukan dengan cara memberikan konstanta k_p dan k_i secara coba-coba hingga memperoleh hasil yang diinginkan. Tahap pertama dalam melakukan *tuning* parameter PI dengan menggunakan metode *trial and error* adalah menentukan nilai K_p . Nilai K_p ditentukan dari nilai yang kecil untuk melihat respon yang dihasilkan. Apabila respon sistem bagus, maka nilai K_p ditingkatkan dan dilihat kembali respon yang dihasilkan. Proses ini terus dilakukan hingga didapatkan nilai K_p dengan respon yang paling baik. Setelah menentukan nilai K_p , maka tahap selanjutnya menentukan nilai K_i . Nilai K_p yang digunakan adalah nilai K_p hasil tuning yang terbaik, sedangkan nilai K_i ditentukan dari nilai yang kecil untuk melihat respon yang dihasilkan. Apabila respon yang dihasilkan baik, maka nilai K_i ditingkatkan dan dilihat kembali respon sistemnya. Jika setelah nilai K_i dinaikkan dan hasil respon yang didapatkan tidak sesuai, maka nilai K_i diturunkan hingga mendapatkan respon sistem yang terbaik.

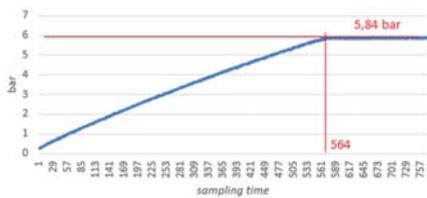
Dalam tuning parameter PI, K_p dan K_i mempengaruhi *rise time*, *overshoot*, *settling time*, dan *steady-state error*. Meningkatnya K_p dan K_i akan menurunkan *rise time* dan meningkatkan *overshoot*. Meningkatnya parameter K_p mengakibatkan perubahan yang kecil pada *settling time*, sedangkan meningkatnya nilai K_i akan menyebabkan *settling time* menurun. Nilai K_p yang meningkat akan menyebabkan *steady state error* menurun, sedangkan meningkatnya nilai K_i akan mengeliminasi *steady state error*.



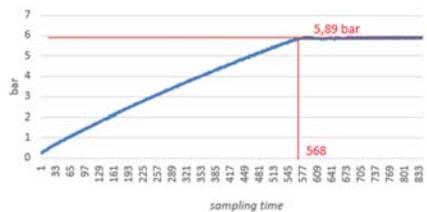
Gambar 14. Hasil tuning $k_p = 250$, $k_i = 25$



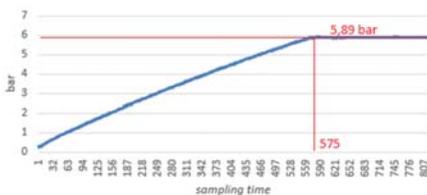
Gambar 15. Hasil tuning $k_p = 250$, $k_i = 50$



Gambar 16. Hasil tuning $k_p = 250$, $k_i = 75$



Gambar 17. Hasil tuning $k_p = 250$, $k_i = 100$



Gambar 18. Hasil tuning $k_p = 250$, $k_i = 125$

Pengujian tuning parameter PI dapat dilihat pada Tabel 2.

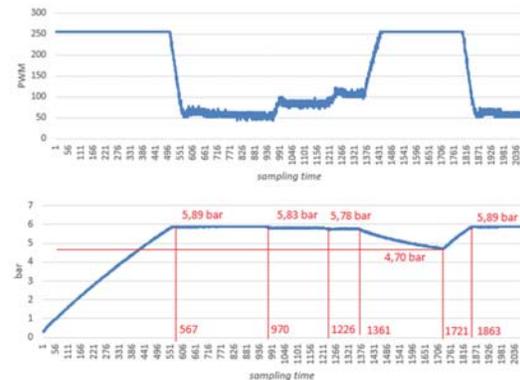
Tabel 2. Hasil tuning parameter PI

Nilai K_p	Nilai K_i	Settling time		Tekanan steady state (bar)
		Dalam 200 milidetik	Detik	
250	25	660	132	5,81
250	50	558	111,6	5,83
250	75	564	112,8	5,84
250	100	568	113,6	5,89
250	125	575	115	5,89

Pada Tabel 2, *settling time* (200 ms) adalah *settling time* yang direpresentasikan dalam bentuk jumlah data, sehingga untuk mendapatkan satuan detik nilai tersebut dikalikan dengan 0,2 detik yang dapat dilihat pada *settling time* (detik). Hasil dari pengujian tuning parameter k_i secara keseluruhan menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai k_i yang diberikan, maka tekanan yang dihasilkan lebih mendekati nilai *setpoint* tekanan. Melalui hasil pengujian tuning parameter k_p dan k_i , maka terlihat bahwa nilai k_p sebesar 250 dan k_i sebesar 100 dapat menghasilkan tekanan pada *steady state* 5,89 bar tekanan tetapi dengan *settling time* yang lebih cepat yaitu 113,6 detik.

C. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan sama seperti pada proses tuning parameter k_p dan k_i . Namun pada pengujian ini, valve yang ada pada tangki kompresor dibuka. Hal ini akan menyebabkan tekanan yang ada pada kompresor menurun, sehingga unjuk kerja dari algoritma PID yang telah di-tuning akan terlihat untuk merespon agar nilai tekanan yang dihasilkan menuju nilai *setpoint*. Tekanan setpoint pada pengujian ini adalah sebesar 6 bar. Ketika tekanan aktual sudah dalam keadaan *steady state*, valve yang ada pada tangki dibuka sebesar 15° sehingga tekanan pada tangki turun. Selanjutnya, valve dibuka hingga 30° , 45° dan diakhiri dengan menutup valve. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Hasil Pengujian Sistem

Pada hasil pengujian ini terlihat bahwa tekanan sebesar 5,89 bar tercapai pada waktu sampling ke 567. Valve yang ada pada tangki dibuka sebesar 15° ketika waktu sampling ke 970, sehingga tekanan turun menjadi 5,83 bar. Nilai PWM meningkat dari 53 ke 96 untuk menyesuaikan dengan tekanan aktual terhadap nilai setpoint tekanan. Berikutnya valve dibuka sebesar 30° pada waktu sampling ke 1226 dan tekanan menurun menjadi 5,78 bar. Nilai PWM kembali meningkat dari 96 menuju 105.

Ketika valve dibuka 45° pada saat waktu sampling ke 1361 hingga 1721, tekanan pada tangki mulai menurun dari 5,78 bar menuju 4,70 bar. Nilai PWM pun meningkat dari 105 menuju 255 sebagai

respon kerja dari algoritma kontrol PI. Ketika *valve* ditutup, tekanan yang dihasilkan pun meningkat dan mencapai tekanan 5,89 bar pada waktu sampling ke 1863.

Pengujian sistem ini menunjukkan bahwa algoritma kontrol PI dapat merespon dengan baik ketika *valve* tangki dibuka (terjadi pemakaian dari kompresor).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir mengenai sistem kendali kecepatan motor 3 fasa untuk pengaturan tekanan udara pada kompresor dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian terhadap pressure transmitter dapat mengkonversikan nilai ADC yang terbaca menjadi nilai tekanan (bar) menggunakan persamaan tekanan = $0,0152(\text{ADC}) - 1,744$, dengan rata-rata nilai error sebesar 2,86 %.
2. Hasil pengujian kontrol PI menunjukkan bahwa PI hasil *tuning* dengan metode *trial and error* dapat bekerja mengontrol kecepatan putar motor.
3. Hasil *tuning* parameter k_p dengan nilai sebesar 100, 150, 200, 250, dan 300 menunjukkan bahwa tekanan yang dihasilkan adalah 5,35 bar, 5,56 bar, 5,65 bar, 5,73 bar, dan 5,76 bar. Sehingga semakin besar nilai k_p maka tekanan yang dihasilkan semakin menuju nilai *setpoint*.
4. Hasil *tuning* parameter k_i dengan nilai sebesar 25, 50, 75, 100, 125 menunjukkan bahwa tekanan yang dihasilkan adalah 5,81 bar, 5,83 bar, 5,84 bar, 5,89 bar, dan 5,89

bar. Sehingga semakin besar nilai k_i maka tekanan yang dihasilkan semakin menuju nilai *setpoint*. Namun apabila nilai k_i terlalu besar, maka akan menghasilkan *overshoot*.

5. Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan parameter PI yang digunakan dapat menghasilkan tekanan pada *steady state* 5,89 bar dari *setpoint* sebesar 6 bar pada nilai $k_p = 250$ dan $k_i = 100$ dengan *settling time* sebesar 113,6 detik.

REFERENSI

- [1] Ghazali, E. L., Iskandarianto, F. A. and Hs, M. I. (2013) 'Rancang Bangun Sistem Kontrol Level dan Pressure Steam Generator pada Simulator Mixing Process di Workshop Instrumentasi', *Jurnal Teknik POMITS*, 2(1), pp. 153–158.
- [2] Kukuh Wahyu Budi Kusumawardana, Irianto, M. Z. E. (2013) 'sistem kontrol pada kompresor tekanan udara sebagai pengisi udara ban kendaraan'.
- [3] Garneta Rizke Ayu Cempaka, Purwanto, R. (2014) 'Pengendalian tekanan pada sistem homogenisasi susu dengan kontroler pid berbasis arduino uno', *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, 2(7), pp. 1–6.
- [4] Yudha, A. W. (2015) 'Perancangan Sistem Pengaturan Tekanan Pada Shutdown Valve Untuk Antisipasi Kebakaran Berbasis Pneumatic Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA 328', *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Brawijaya*, pp. 1–10.
- [5] Kiran Nagulapati, Dhanamjaya Appa Rao, Anil Kumar Vanapali and Yuliananda, S. (2014) 'Synchronous Current Control of Three phase Induction motor by CEMF compensation', *Journal of Electrical Engineering (JEE)*, 14(3), pp. 175–180.