E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.warunayama.org/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 2, No. 6 2024, pp.71-80

KONTROL KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 PADA LIFT 4 LANTAI

Mukhammad Bayu Riswan Maulana[1], Denda Dewatama[2], Mila Fauziyah[3]
e-mail: bayuriswanbayuriswan@gmail.com, dewatama@polinema.ac.id , mila.fauziyah@polinema.ac.id
[1,2,3]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Abstrak

Lift atau Elevator merupakan teknologi yang biasa digunakan pada gedung-gedung bertingkat seperti pada umumnya, teknologi ini dapat mempermudah mobilitas manusia menuju lantai gedung yang dituju dengan cepat dan efisien. Akan tetapi, kecepatan dan ketepatan putaran motor pada sistem penggerak Lift juga perlu di perhitungkan dari segi keamanan dan ketepatan waktu. Maka, dibutuhkan suatu metode untuk mempertahankan posisi dan kestabilan motor lift. Metode yang akan digunakan yaitu menggunakan (Proportional Integral Derifative) PID. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan motor induksi 3 fasa dari lantai 1,2,3, dan 4 menuju lantai lainya. Lift dikendalikan oleh mikrokontroller menggunakan algoritma PID untuk memastikan stabilnya motor induksi 3 fasa selama lift berjalan. Adapun komponen lainya seperti sensor rotary encoder incremental digunakan sebagai pembaca kecepatan putaran motor, rangkaian PWM Analog Converter sendiri difungsikan sebagai pengubah sinyal PWM menjadi tegangan analog yang mengatur perubahan frekuensi (Variable Speed Drive) VSD. Sewaktu pengujian parameter PID, didapati nilai parameter Kp = 0.3, Ki = 0.3, dan Kd = 0.9. Sehingga dihasilkan putaran motor induksi 3 fasa yang stabil dan terkontrol.

Kata kunci: Kontrol PID. Elevator, Motor induksi 3 fasa, Variable Speed Drive, PWM Analog Converter

Abstract

Lift or elevator is a commonly used technology in multi-story buildings, which facilitates efficient and fast vertical transportation for individuals. However, the speed and precision of the motor rotation in the elevator drive system also need to be considered in terms of safety and timeliness. Therefore, a method is needed to maintain the position and stability of the elevator motor. The method used in this study is the Proportional Integral Derivative (PID) control. Testing was conducted by

measuring the speed of a three-phase induction motor from floors 1, 2, 3, and 4 to other floors. The elevator is controlled by a microcontroller using PID algorithm to ensure the stability of the three-phase induction motor during elevator operation. Other components, such as incremental rotary encoder sensors, are used to read the motor speed, and the PWM Analog Converter circuit is utilized to convert PWM signals into analog voltage that controls the Variable Speed Drive (VSD) frequency changes. During the testing, the PID parameters were tuned, resulting in the parameter values of Kp = 0.3, Ki = 0.3, and Kd = 0.9. As a result, a stable and controlled rotation of the three-phase induction motor was achieved.

Keywords: PID Control, Elevator, 3-phase induction, Variable Speed Drive, PWM Analog Converter

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman terutama di bidang teknologi dapat memberikan solusi atas permasalahan yang semakin hari semakin bertambah [1], salah satunya dengan dibangunnya gedung-gedung bertingkat mengakibatkan permasalahan baru terhadap waktu yang dibutuhkan manusia untuk mencapai lantai demi lantai pada bangunan gedung tersebut, jika hanya melewati tangga yang sudah disediakan sebelumnya, hal tersebut masih belum cukup untuk menyelesaikan permasalahan efisiensi pada waktu. Oleh sebab itu, dibuatlah sebuah alat yang kita kenal dengan nama lift *(Elevator*) [2]. Lift merupakan transportasi vertikal biasa digunakan untuk mengangkut orang ataupun benda. Pada lift konvensional digunakan pada gedung-gedung bertingkat tinggi, biasanya lebih dari tiga atau empat lantai [3]. Dalam penggunaanya pada aplikasi lift kali ini menggunakan motor induksi 3 fasa [4]. Cara kerja lift pada umunya yaitu lift bisa bergerak naik atau turun, perubahan arah tersebut diatur berdasarkan permintaan terhadap lantai yang diinginkan [5]. Dalam pergerakan lift naik atau turun terdapat sebuah masalah pada akselerasi dan ketepatan posisi berhenti nya lift [6]. Oleh karena itu, digunakan sensor *Rotary Encoder incremental* untuk membaca kecepatan dan kestabilan dari setiap putaran motor induksi 3 fasa [7]. Sensor *Rotary Encoder Incremental* merupakan sensor dengan sistem yang memanfaatkan pergerakan mekanis dari putaran motor, seperti pada tipe sensor E6B2-CWZ1X yang saya gunakan dapat menghasilkan 400 pulse dalam satu kali rotasi [8].

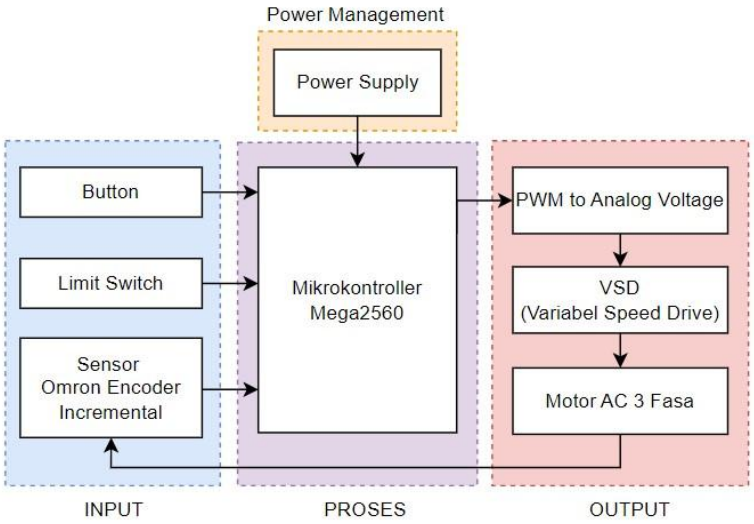
Agar lift dapat bergerak stabil dan memiliki akselerasi, diperlukan sebuah sistem kontrol. Adapun sistem kontrol yang efisien bagi lift ini adalah sistem kontrol PID [9]. Hasil dari pembacaan nilai *error* akan di bedakan dengan nilai *setpoint* , berdasarkan nilai, pembacaan dari sensor *rotary encoder* yang nantinya akan

dikirimkan menuju mikrokontroller sebagai *feedback* [10] [11], dan akan di lakukan proses perhitungan sehingga aktuator dapat berjalan sesuai yang kita inginkan [12]. Dengan menerapkan metode kontrol PID ini diharapkan dapat memberikan sebuah sistem yang lebih aman dan nyaman bagi pengguna lift [13].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan sebuah diagram yang menjelaskan alur pada

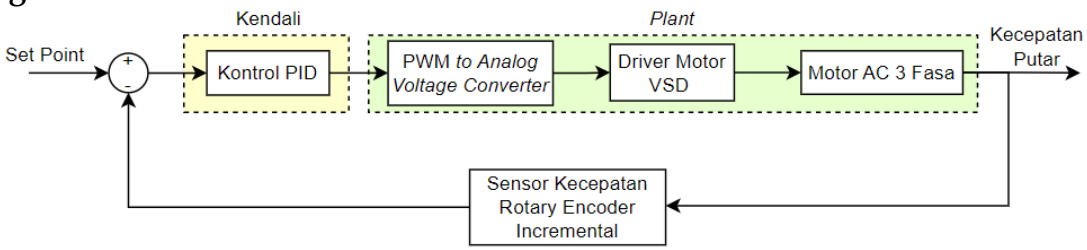


setiap komponen yang berperan sebagai input, proses, dan juga output.

Gambar 1 : Blok Diagram Sistem

Pada diagram blok yang terlihat dalam Gambar 1 terdapat tombol dimana tombol tersebut memiliki spesifikasi *push on* digunakan sebagai masukan mikrokontroller untuk memanggil lift jika dalam suatu kondisi lift tidak berada pada posisi lantai yang ingin dinaiki. Kemudian tombol angka lantai yang terletak di dalam lift berfungsi untuk menentukan lantai yang ingin dituju. Selanjutnya, sensor *Rotary Encoder Incremental* difungsikan sebagai masukan pembaca kecepatan dari putaran motor penggerak lift. Selanjutnya pada tahap proses terdapat Arduino Mega 2560 yang difungsikan sebagai pemroses data dari setiap penggunaan input. Kemudian yang terahir pada bagian output terdapat rangkaian PWM *to Analog Voltage Converter* yang berfungsi untuk mengubah sinyal PWM menjadi tegangan analog DC. Dari tegangan analog tersebut dihubungkan dengan *(Variable Speed Drive)* VSD pada pin A1. VSD sendiri merupakan driver yang memiliki tegangan kerja 380-400V AC digunakan untuk menggerakkan motor induksi 3 fasa yang mana pergerakan dan kecepatan tersebut diatur berdasarkan frekuensi output yang terhubung dengan motor induksi 3 fasa penggerak utama lift.

2.2 Diagram Blok Kontrol



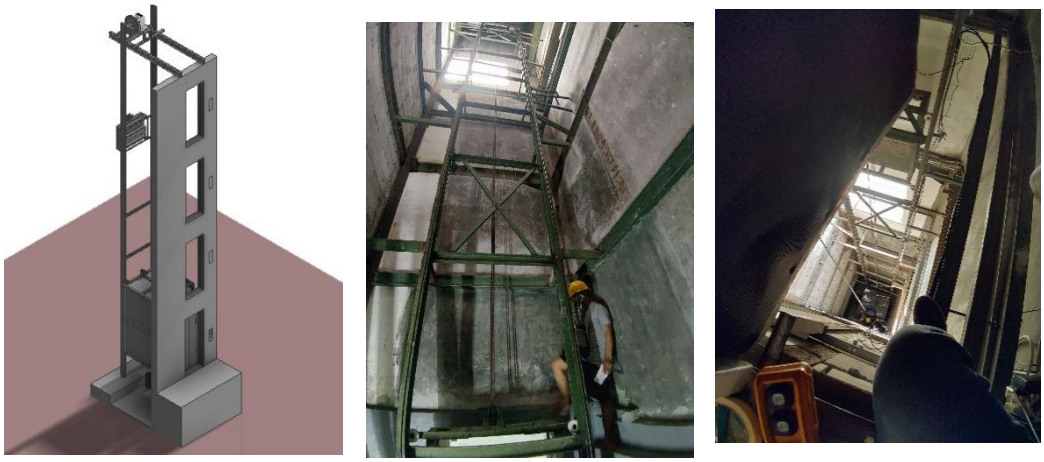
Gambar 2 : Diagram Blok Kontrol

Kontroler PID digunakan untuk menjaga agar motor dapat berputar stabil ketika ada beban pada saat lift dalam kondisi mengangkut penumpang, dan melakukan akselesari kecepatan awal berjalan hingga menuju kecepatan stabil. Pada penelitian ini menggunakan *feedback* berupa *interrupt* yang di baca dari sensor *rotary encoder*. Sensor ini mampu mengirimkan *interrupt* sebanyak 400 kali dalam satu kali rotasi. Interrupt tersebut yang akan dibaca oleh mikrokontroller Arduino Mega 2560 yang mana kemudian dilakukan proses perhitungan kontrol PID. Dari hasil perhitungan tersebut kemudian akan di kirimkan menuju PWM to *Analog Voltage Converter* agar dilakukan perubahan dari sinyal PWM menjadi tegangan analog DC 0-10V. Perubahan nilai tegangan di pengaruhi oleh lebar pulsa (pwm) yang dihasilkan dari mikrokontroller berdasarkan perhitungan PID, nilai tegangan tersebut kemudian digunakan oleh *(Variable Speed Drive)* VSD sebagai pengatur kecepatan motor induksi 3 fasa. VSD melakukan pengaturan kecepatan dengan cara mengubah frekuensi motor, perubahan frekuensi motor berdasarkan pada input tegangan yang dihasilkan rangkaian PWM *to Analog Voltage Converter.*

Dalam penelitian tugas akhir ini, penentuan dari nilai Kp, Ki, dan Kd untuk kontrol PID diperoleh menggunakan beberapa cara salah satunya *trial and error, manual tuning* atau bisa juga disebut *tuning experiment.* Cara tersebut merupakan sebuah metode untuk menentukan nilai dari ketiga kontrol PID yaitu Kp, Ki, dan Kd dengan percobaan *trial and error* hingga didapati kombinasi dari ketiga nilai tersebut yaitu Kp=0,3 Ki=0,3 dan Kd=0,9 untuk menuju keadaan *setpoint.*

2.3 Perancangan Mekanik

Model kerangka lift yang digunakan pada penelitian ini adalah kerangka traksi (*Traction Elevator*), dilengkapi dengan kabel seling baja yang terhubung dengan kabin lift dan beban penyeimbang *(Counterweight)* melewati puli katrol yang di gerakan oleh motor induksi 3 fasa.



Gambar 3 : Perancangan Mekanik

Gambar 3 merupakan perancangan mekanik dari lift 4 lantai dimana bahan untuk kerangka lift terbuat dari besi baja dan penutup lift *(cover)* terbuat dari plat besi *stainless* dengan tinggi 3 meter, panjang 1,7 meter, dan lebar 2 meter. Kemudian pada proses penyambungan menggunakan metode las listrik, sehingga bisa terbentuk sesuai dengan desain yang diinginkan.

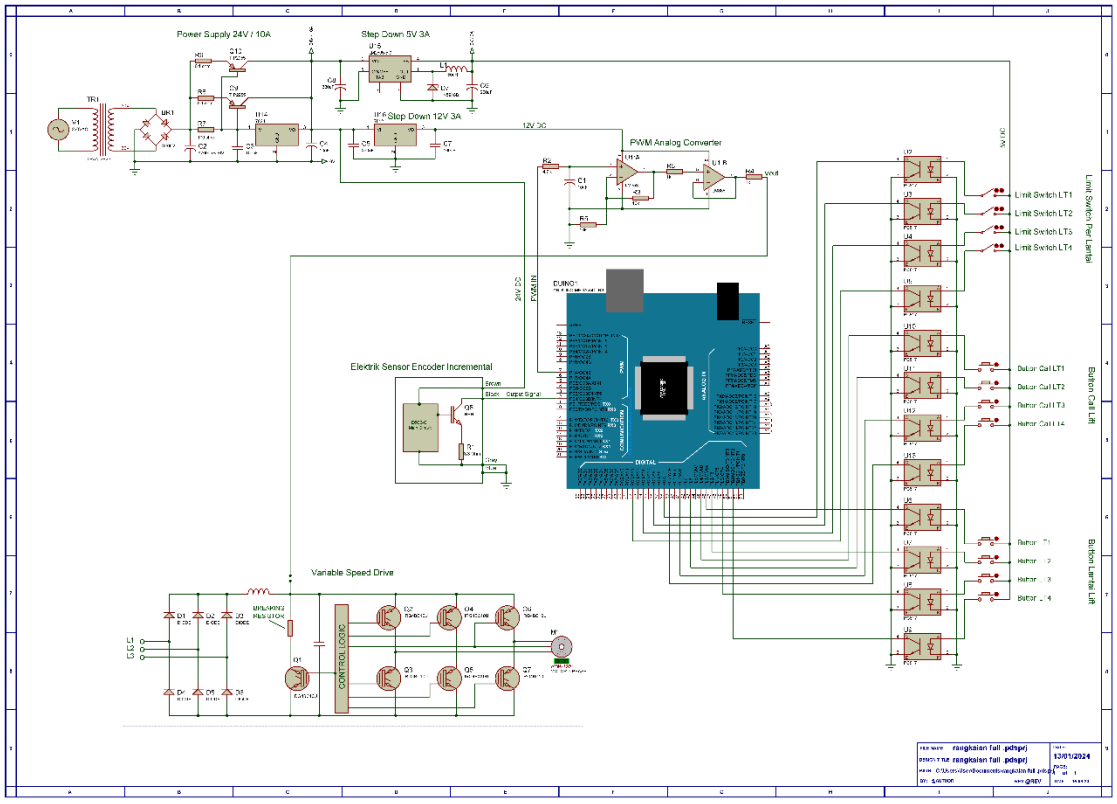
2.4 Perancangan Elektrik

Spesifikasi Elektrik

1. Catu daya : PSU 12 Volt, 5 Amper
2. Jenis mikrokontroller : Arduino Mega 2560 pro
3. Jenis sensor : *Rotary Encoder Incremental*
4. Jenis aktuator : *(Variable Speed Driver)* VSD

Spesifikasi Mekanik

5. Dimensi kabin lift : 1,7 x 2 x 3 Meter
6. Bahan mekanik : Plat alumunium besi dan baja



Gambar 4 : Perancangan Rangkaian Elektrik Keseluruhan

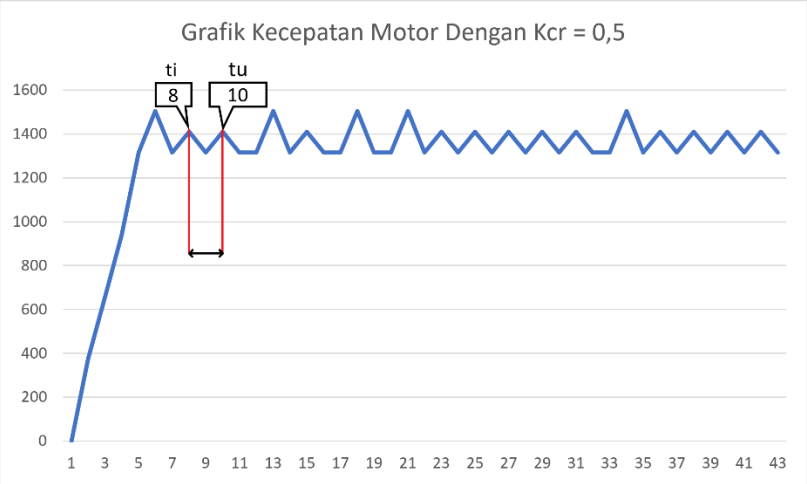
2.5 Perancangan Kontrol PID

Metode Ziegler-Nichols Osilasi merupakan salah satu strategi yang diterapkan dalam pendekatan penyesuaian parameter PID dalam sistem kontrol. Metode ini melibatkan pengujian eksperimental dengan memberikan input yang bervariasi secara periodik ke dalam sistem tersebut. Saat proses pengujian, dilakukan observasi terhadap respons output sistem dan dicari pola osilasi yang terjadi dalam respons tersebut. Setelah pola osilasi berhasil diidentifikasi, dilakukan pengukuran terhadap periode osilasi, yakni waktu yang diperlukan untuk melalui satu siklus osilasi lengkap. Dengan memanfaatkan nilai periode osilasi yang terukur tersebut, parameter-parameter kontrol PID dapat dihitung menggunakan rumus-rumus yang tertera dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 : Rumus Metode Ziegler-Nichols

Tipe kontroler	Kp	Ki	Kd
P	0.5 K_{CR}	∞	0
PI	0.45K_{CR}	0.83P_{CR}	0
PID	0.6K_{CR}	0.5P_{CR}	0.125P_{CR}

Dalam proses penentuan nilai PID, langkah awal yang dilakukan adalah menginisialisasi konstanta integral (Ki) dan konstanta derivatif (Kd) dengan nilai nol, sementara konstanta proporsional (Kp) diberikan nilai mulai dari angka terkecil atau nol (0.01) hingga mendapatkan respons sistem yang mengalami osilasi. Respons sistem yang mengalami osilasi harus berada dalam keadaan yang stabil. Pada sistem yang dirancang, sistem akan mengalami osilasi yang optimal ketika nilai Kp disetel sebesar 0.5, namun apabila diberi nilai dibawah 0.5 tidak akan menghasilkan respons sistem yang diinginkan.



Gambar 5 : Grafik Respon Sistem Dengan Kp = 0,5

Setelah mendapatkan respon system yang diinginkan berdasarkan Gambar 6 dengan nilai Kcr 0,5. Selanjutnya dicari nilai Pcr dengan mengidentifikasi grafik dengan nilai puncak yang sama pada satu periodik. Maka didapati nilai Tu = 10, Ti = 8. Nilai ini kemudian sebagai acuan penentu parameter Kp, Ki dan Kd menggunakan pendekatan metode Ziegler Nichols 2 sehingga dengan perhitungan sebagai berikut :

$Kcr = 0.5$ (1)

$Pcr = 10 - 8 = 2$ (2)

Berdasarkan hasil nilai Kcr dan Pcr yang sudah dilakukan perhitungan diperoleh hasil Kp, Ki dan Kd berdasarkan rumus PID seperti pada Tabel 1

- Perhitungan Nilai Kp

  $Kp = 0.6 \times Kcr$ (3)

  $= 0.6 \times 0.5$

  $= 0.3$

- Perhitungan nilai Ki

$$Ti = 0.5 \times Pcr \quad (4)$$
$$= 0.5 \times 2$$
$$= 1$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}$$
$$= \frac{0.3}{1}$$
$$= 0.3$$

- Perhitungan Kd

$$Td = 0.125 \times Pcr \quad (5)$$
$$= 0.25 \times 2$$
$$= 0.5$$

$$Kd = Kp \times Td$$
$$= 0.3 \times 0.25$$
$$= 0.075$$

Setelah dilakukan perhitungan sehingga didapati Kp = 0.3, Ki = 0.3, dan Kd = 0,75. Parameter tersebut diaplikasikan untuk mengendalikan kecepatan motor induksi 3 fasa berdasarkan kontrol PID metode Ziegler Nicols.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Kalibrasi Sensor *Rotary Encoder*

Pada pengujian ini dilakukan kalibrasi sensor *rotary encoder* dengan menempatkan posisi sensor pada belt motor induksi 3 fasa. Penempatan tersebut ditujukan agar puli sensor dapat berputar sama dengan kondisi ketika motor juga berputar.

Tabel 2 : Pengujian Kalibrasi Sensor *Rotary Encoder*

No	Nilai PWM	RPM Sensor	RPM Tachometer	Error(%)
1	15	76	76,5	0,6
2	30	170	169	0,5
3	45	265	262	1,14
4	60	359	354	1,4
5	75	449	448	0,2
6	90	542	541	0,18
7	105	632	633	0,15
8	120	726	724	0,27
9	135	810	814	0,4
10	150	904	907	0,3
11	165	994	995	0,1
12	180	1081	1085	0,3
13	195	1175	1173	0,17
14	210	1265	1265	0
15	225	1359	1353	0,4
16	240	1443	1446	0,2

17	255	1500	1505	0,3
Rata - Rata Error (%)				0,41%

Dari hasil pengujian sensor kecepatan, seperti yang terlihat pada Tabel 2 terbukti bahwa perbandingan sensor kecepatan menggunakan tachometer mampu mengidentifikasi putaran motor per menit dengan akurat. Perbandingan hasil pembacaan kecepatan motor induksi 3 fasa menghasilkan rata-rata nilai *error*, Informasi tentang presentase *error* dapat diperoleh melalui perhitungan rumus presentase nilai *error* di bawah ini:

$$Error\ \% = \left| \frac{RPM\ Tachometer - RPM\ Sensor}{RPM\ Tachometer} \right| \times 100\ \%$$

Perhitungan error dilakukan pada setiap perubahan sampling sebesar 15 PWM pada pengujian sensor kecepatan, menghasilkan error maksimal sebesar 1,4 dan error minimal sebesar 0,1. Evaluasi sensor kecepatan menunjukkan bahwa error rata-ratanya mencapai 0,41%. Perhitungan nilai rata-rata ini didasarkan pada penggunaan rumus berikut:

$$Error\ rata - rata(\%) = \left| \frac{\sum RPM\ Tachometer}{\sum Error\ Tachometer} \right| \times 100\ \%$$

3.2 Pengujian *Driver (Varbaible Speed Drive)* VSD

Pada pengujian ini pertama dilakukan dengan cara mengatur PWM melalui program menggunakan *software* Arduino IDE. Program tersebut kemudian digunakan oleh mikrokontroller untuk menghasilkan PWM sesuai dengan nilai *dutycycle* yang sudah ditentukan. Berikut hasil dari pengujian *driver* VSD yang digunakan untuk mengoperasikan motor induksi 3 fasa.

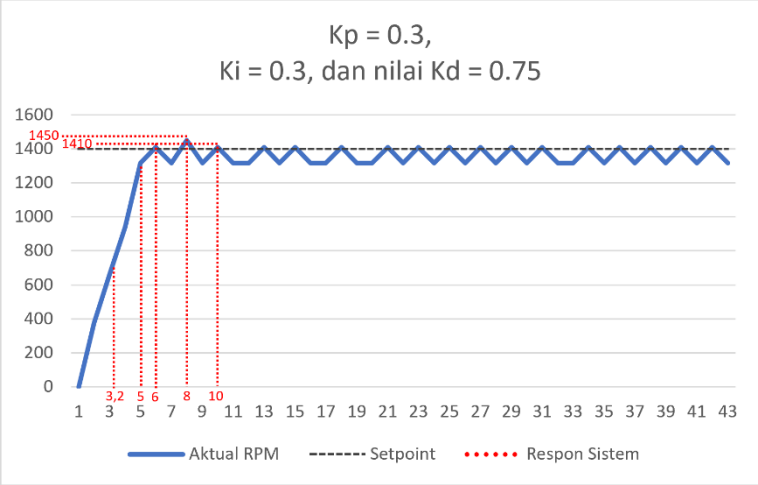
Tabel 3 : Pengujian *(Driver variable Speed Drive)* VSD

No	Nilai PWM	Frekuensi Output VSD (Hz)
1	15	2,9
2	30	5,7
3	45	8,9
4	60	12
5	75	15
6	90	18
7	105	21,4
8	120	24,4
9	135	27,5
10	150	30,3
11	165	33,2
12	180	36,4
13	195	39
14	210	41
15	225	49,6
16	240	47,8
17	255	49,9

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat di Tabel 3, driver motor induksi 3 fasa mampu mencapai frekuensi hingga 50Hz dengan nilai maksimal PWM *(Pulse Width Modulation)* mencapai 255. Oleh karena itu, motor dapat dioperasikan pada frekuensi tertinggi dengan menggunakan driver motor VSD *(Variable Speed Drive)*.

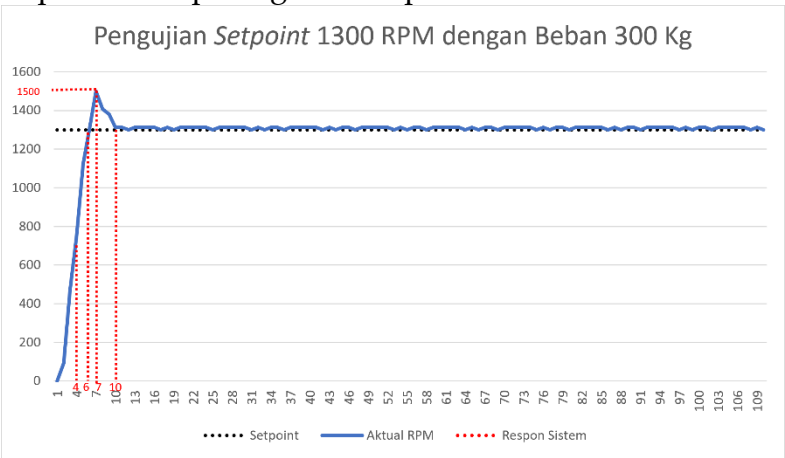
3.3 Pengujian Kontrol PID

Dalam eksperimen pengujian kecepatan motor induksi 3 fasa tanpa beban pada lift 4 lantai, digunakan waktu sampling sebesar 0.5 detik atau 500 milidetik. Berdasarkan perhitungan respon osilasi dengan metode sistem Ziegler-Nichols, didapatkan nilai-nilai parameter respon sistem sebagai berikut: Kp = 0.3, Ki = 0.3, dan Kd = 0.075. Pengujian ini dilakukan dengan mengatur *setpoint* kecepatan sebesar 1400 RPM.



Gambar 6 : Respon Sistem dengan Metode Zn Osilasi

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa respon sistem kontrol PID masih belum memuaskan. Oleh karena itu, dilakukan penyesuaian *Fine Tuning* terhadap nilai-nilai Kp, Ki, dan Kd agar respons sistem dapat menjadi lebih baik. Setelah proses penyetelan, diperoleh nilai-nilai Kp = 0.5, Ki = 0.1, dan Kd = 0.9. Berbeda dengan sebelumnya pada hasil percobaan kali ini menggunakan beban 300Kg atau setara dengan 5-6 orang dengan *setpoint* berbeda yaitu 1300 RPM dan 1400 RPM. Hasil dari penyesuaian tersebut dapat dilihat pada grafik respon sistem berikut.



Gambar 7 : Respon Sistem dengan Metode Zn *(Fine Tuning)* 1300 RPM

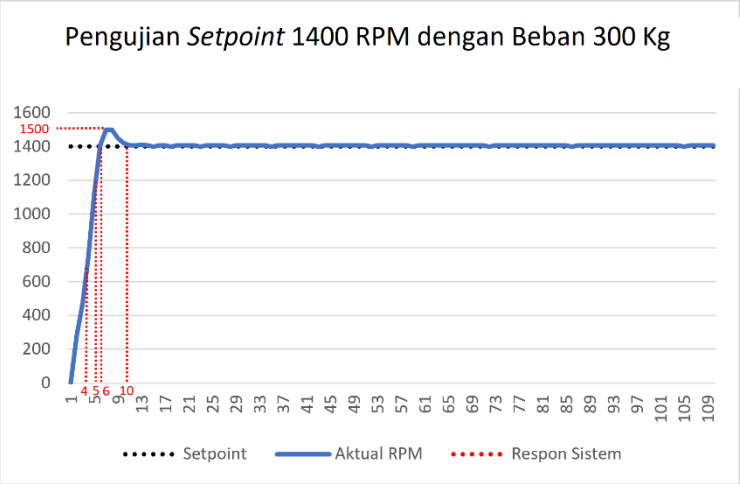
Berdasarkan Gambar 7 diperoleh analisa perhitungan respon sebagai berikut :

Delay Time : 4s
Rise Time : 6s
Peak Time : 7s
Overshoot : $\frac{(1500-1300)}{1300} \times 100\% = 15\ \%$

Settling Time : 10s

$$Error\ \ Steady\ \ State : \frac{(1310-1300)}{1300} \times 100\% = 0{,}7\ \%$$

Hasil perhitungan menunjukan dari percobaan respon sistem dengan Kp = 0.5, Ki = 0.3, Kd = 0.9 dan *setpoint* 1300 RPM didapati respon *overshoot* dengan nilai 15% dan *error steady state* sebesar 0.7%. Hasil respon sistem tersebut sudah cukup bagus. Namun, terdapat *overshoot* yang cukup tinggi diakibatkan oleh *delay deceleration* dari VSD.



Gambar 8 : Respon Sistem dengan Metode Zn *(Fine Tuning)* 1400 RPM

Berdasarkan Gambar 8 diperoleh analisa perhitungan respon sebagai berikut :

Delay Time : 4s
Rise Time : 5s
Peak Time : 6s
Overshoot : $\frac{(1500-1400)}{1400} \times 100\% = 7{,}1\ \%$

Settling Time : 10s
Error Steady State : $\frac{(1407-1400)}{1400} \times 100\% = 0{,}5\ \%$

Hasil perhitungan menunjukan respon sistem dengan Kp = 0.5, Ki = 0.3, Kd = 0.9 dan *setpoint* 1300 didapati respon *overshoot* dengan nilai 7,1% dan *error steady state* sebesar 0,5%. Hasil respon sistem tersebut sudah bagus dari pada sebelumnya meskipun masih terdapat *overshoot* yang diakibatkan dari *delay deceleration* VSD.

Tabel 4 : Hasil respon sistem pada kecepatan 1300 RPM dan 1400 RPM

No	Setpoint RPM	Delay Time (s)	Rise Time (s)	Peak Time (s)	Max Overshoot (%)	Settling Time (s)	Error Steady State
1	1300	4s	6s	7s	15%	10s	0,7%
2	1400	4s	5s	6s	7,1%	10s	0,5%

Dari Tabel 4 yang tercantum di atas, dapat dilihat bahwa kedua kecepatan memiliki waktu delay time sebesar 4 detik. Namun, untuk mencapai rise time terbaik pada kecepatan 1400 RPM, dibutuhkan waktu yang lebih cepat sebesar 5 detik. Dalam mencapai puncak, kedua kecepatan memiliki waktu yang berbeda, yaitu 7 detik untuk setpoint 1300 RPM dan 6 detik untuk setpoint 1400 RPM. Selain itu, nilai maksimum *overshoot* terkecil terjadi pada kecepatan 1400 RPM sebesar 7,1%. Untuk mencapai titik konstan, kedua *setpoint* kecepatan memerlukan waktu yang sama, yaitu 10 detik. Namun, nilai *error steady state* pada *setpoint* 1400 RPM memiliki perbedaan 0,2% dibandingkan dengan *setpoint* 1300 RPM, dengan *setpoint* 1400 RPM memiliki nilai yang lebih baik. Grafik respon hasil pengujian menunjukkan osilasi yang kecil atau error terkecil pada kecepatan 1400 RPM, dengan kesalahan maksimal sebesar 0,5%. Dengan demikian, motor induksi tiga fasa berhasil mencapai kecepatan yang konstan sesuai dengan *setpoint*.

4. KESIMPULAN

Melalui proses perancangan dan uji coba yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol kecepat an motor induksi 3 fasa pada lift 4 lantai berhasil dikembangkan dan beroperasi dengan performa yang baik. Sistem ini mampu mengontrol kecepatan motor secara efektif dan memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Berikut adalah beberapa temuan yang dapat disimpulkan dari penelitian ini: :

1. Sensor kecepatan yang diterapkan dalam sistem pengaturan kecepatan motor induksi 3 fasa pada lift 4 lantai adalah sensor *rotary encoder* dengan jenis E6B2-CWZ6C. Dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan, didapatkan nilai kesalahan terendah pada sensor sebesar 0,02%, kesalahan tertinggi sensor sebesar 1,4%, dan rata-rata *error* sensor sebesar 0,41%.
2. Dalam konteks sistem ini, menggunakan pengendalian PID untuk mengatur kecepatan motor. Penyesuaian nilai PID dilakukan menggunakan metode Ziegler-Nichols dengan kecepatan motor yang diatur pada nilai 1400 RPM. Hasil penyesuaian pada kecepatan tersebut menghasilkan parameter respons sistem dengan nilai Kp = 0.3, Ki = 0.3, dan Kd = 0.9.
3. Perancangan sistem control pada kontrol kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis arduino mega 2560 pada lift 4 lantai menggunakan PID dengan nilai Kp = 0.3, Ki = 0.3 dan Kd = 0.9 mendapatkan hasil respons optimal pada kecepatan motor 1400 RPM. Implementasi PID yang dilakukan berhasil mempercepat konvergensi sistem menuju setpoint yang telah ditentukan. Didapatkan waktu tunda *(delay time)* sebesar 4 detik., Waktu respon naik *(rise time)* lebih cepat sebesar 5 detik, Dengan adanya pergerakan awal *(starting)*, nilai *maksimum overshoot* (Mo) yang terjadi mencapai 7,1% pada waktu puncak *(peak time)* sebesar 6 detik. Selanjutnya, sistem mencapai keadaan *steady state* dengan waktu *settling time* (Ts) sebesar 10 detik yang lebih cepat, disertai dengan nilai *error maksimum* sebesar 0,5%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. G. Ratnaya, "Dampak Negatif Perkembangan Teknologi Informatika Dan Komunikasi Dan Cara Antisifasinya," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 8, no. 1, pp. 17–28, 2011, doi: 10.23887/jptk.v8i1.2890.

[2] B. Priambodo, E. Nursanti, and D. I. Laksmana, "Analisa Risiko Lift (Elevator) dengan Metode FMEA," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri*, vol. 7, no. 2, pp. 7–12, 2021.

[3] A. Syaifudin, "Analisis Kelayakan Elevator Studi Kasus Hotel Grand Tjokro Dan Mataram City Yogyakarta," *Inersia*, vol. X, no. 2, pp. 186–196, 2014.

[4] Theodore Wildi, "Teori Motor Induksi Tiga Fasa Universitas Semarang," *Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia*, pp. 7–37, 2017.

[5] K. Pangaribuan, "SISTEM PENGENDALIAN MOTOR DC APLIKASI LIFT DENGAN PENGENDALI DIGITAL BERBASIS ARDUINO," pp. 1–40, 2019, [Online]. Available: http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/3378

[6] M. D. Sebayang and B. M. Tarigan, "Cara Kerja Dan Perbaikan Lift Pada Gedung Bumn," pp. 1–19, 2018.

[7] R. Luthfi Fakhrudin Nizar, Purwanto, "SISTEM PENGENDALI KECEPATAN MOTOR DC PADA LIFT BARANG MENGGUNAKAN KONTROLER PID BERBASIS ATMEGA 2560," *Hasil, Publikasi Skripsi, Penelitian Elektro, Jurusan Teknik Teknik, Fakultas Brawijaya, Universitas Studi, Program Skripsi, Judul*.

[8] A. Reichenbach *et al.*, "RANCANG BANGUN PENDETEKSI KECEPATAN MOTOR INDUKSI DENGAN MENGGUNAKAN ROTARY ENCODER DAN MIKROKONTROLER," *Prog Retin Eye Res*, vol. 561, no. 3, pp. S2–S3, 2019.

[9] L. C. and A. Z. C. Li, "Application of neural network PID controller to elevator control system," *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference, Beijing, China, 2010, pp. 71-74.*, pp. 71–74, 2010, [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5573076&isnumber=5571954

[10] Siti Nur Alima, Mila Fauziyah, and Denda Dewatama. PI Controller Untuk Mengatur Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa. Avitec, 2(2):161–169, 2020. ISSN 26852381. doi: 10.28989/avitec.v2i2.647.

[11] A. J. Ishak, A. C. Soh, and M. A. Ashaari, "Position control of arm mechanism using pid controller," *J Theor Appl Inf Technol*, vol. 47, no. 2, pp. 798–806, 2013.

[12] X. Zhang, J. Zhang, Y. Hu, and C. Dou, "Elevator speed control method based on wireless sensor network," *The Journal of Engineering*, vol. 2019, no. 22, pp. 8400–8403, 2019, doi: 10.1049/joe.2019.1090.

[13] X. Xu and Q. Wang, "Speed control of hydraulic elevator by using PID controller and self-tuning fuzzy PID controller," in *2017 32nd Youth Academic Annual Conference of Chinese Association of Automation (YAC)*, 2017, pp. 812–817. doi: 10.1109/YAC.2017.7967521.