

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk Mengetahui apakah sistem pada pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa dapat bekerja dengan baik, maka dilakukan pengujian terhadap setiap komponen elektronika meliputi sensor dan actuator yang akan digunakan.

4.1 Pengujian PWM *to Voltage* (0 – 10V)

Pada tugas akhir ini menggunakan PWM *to Voltage* (0 – 10 V) yang digunakan sebagai konversi PWM dari Arduino UNO menjadi nilai tegangan 0 – 10V yang akan disambungkan ke VFD untuk mengatur frekuensi di VFD. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai PWM dari Arduino, Tegangan hasil konversi dari PWM *to Voltage* dan frekuensi yang dihasilkan oleh VFD. Tabel 4.1 merupakan hasil pengujian PWM *to Voltage* 0 – 10V.

Tabel 4. 1 Pengujian konversi PWM *to Voltage* 0-10 V

Pengujian Ke -	PWM Dari Arduino UNO (<i>Byte</i>)	Tegangan Konversi PWM <i>to</i> <i>Voltage</i> (Volt)	Frekuensi VFD (Hertz)
1	25	2,1	10,8
2	50	3,9	17,6
3	75	4,6	23,4
4	100	5,7	28,7
5	125	6,6	33,4
6	150	7,5	37,6
7	175	8,2	41,4
8	200	8,9	44,8
9	225	9,5	48
10	255	10	50

Berdasarkan rumus perhitungan konversi (2.4) dan jika dibandingkan dengan Tabel 4.1 hasil dari komponennya secara langsung memiliki tingkat simpangan yang cukup jauh dikarenakan input yang digunakan sebagai *supply* dari PWM to Voltage 0-10V adalah 24V. Hal ini dapat mempengaruhi hasil konversi dari PWM to Voltage 0 – 10V. Hasil pengukuran konversi tegangan menggunakan *multimeter* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



(a)

(b)

Gambar 4. 1 (a) Hasil pengukuran konversi PWM to Voltage (b) Hasil frekuensi pada VFD dari konversi PWM to Voltage

4.2 Pengujian Sensor Proximity Induktif

Pengujian Sensor Proximity Induktif ini bertujuan untuk melihat keakuratan sensor proximity dalam membaca kecepatan motor induksi tiga fasa. Pengujian sensor proximity ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan nilai kecepatan (RPM) terhadap *setpoint* atau VFD dengan nilai frekuensi yang tetap dari sensor proximity dengan nilai kecepatan (RPM) yang terbaca pada *tachometer*. Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 merupakan hasil pengujian sensor proximity.

Tabel 4. 2 Pengujian Sensor Proximity Interval 0,25 s

Pengujian Ke-	Frekuensi VFD (Hz)	Nilai terbaca pada tachometer (RPM)	Nilai terbaca pada sensor (RPM)	Selisih pengukuran (RPM)	Error (%)
1	40	1200	1280	80	6,6%
2	40	1200	1120	80	6,6%
3	40	1200	1260	80	6,6%
4	40	1200	1200	0	0%
5	40	1200	1200	0	0%
Rata-rata Error pada Sensor Proximity					3,96%

Tabel 4. 3 Pengujian Sensor Proximity Interval 0,1s

Pengujian Ke-	Frekuensi VFD (Hz)	Nilai terbaca pada tachometer (RPM)	Nilai terbaca pada sensor (RPM)	Selisih pengukuran (RPM)	Error (%)
1	40	1200	1050	150	12,5%
2	40	1200	1350	150	12,5%
3	40	1200	1050	150	12,5%
4	40	1200	1200	0	0%
5	40	1200	1200	0	0%
Rata-rata Error pada Sensor Proximity					7,5%

Nilai Error didapatkan dengan menghitung menggunakan persamaan 2.14. Dengan adanya nilai *error* yang didapat dapat disimpulkan bahwa pengukuran *error* dalam batas normal dikarenakan pada sistem ini mengukur kecepatan motor induksi tiga yang dimana sangat rentan terjadi *error* maka implementasikan toleransi *error*

untuk interval 0,25s berkisar 6,6% dan untuk interval 0,1s berkisar 0,1s . Kemudian selalu ada selisih 80 RPM untuk interval 0,25s dan selisih 150 RPM untuk interval 0,1s, dikarenakan sesuai dengan perhitungan pada persamaan 2.5. Hasil pengukuran kecepatan (RPM) menggunakan *tachometer* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil pengukuran tachometer.

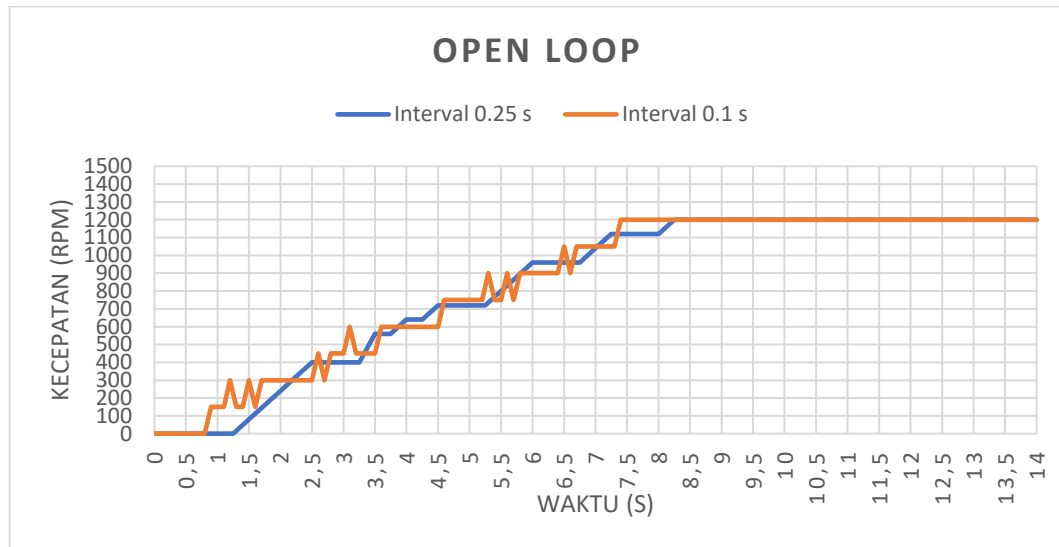
4.3 Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan alat dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam proses pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa. Sebelum melaksanakan pengujian keseluruhan, dilakukan pencarian nilai P, PI dan PID menggunakan metode Ziegler – Nichols dengan melakukan pengujian secara *open loop* pada sistem. Setelah itu, dilakukan pengujian pada sistem dengan hasil *fine tuning* untuk mendapatkan performa yang optimal. Kemudian akan dilakukannya pengujian untuk *monitoring* secara *real-time* pada *software* LabVIEW dengan komunikasi kabel serial.

4.3.1 Identifikasi Model Sistem Open Loop 1200 RPM

Pada sistem pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa, identifikasi model sistem adalah langkah awal yang penting untuk memahami karakteristik sistem. Pengamatan ini bertujuan untuk menentukan parameter utama sistem, seperti *gain* (K), konstanta waktu (τ), waktu tunda (L). Dikarenakan untuk memahami karakteristik sistem dan ada pengaruh untuk kecepatan pengiriman data

baik itu untuk interval 0,25s dan interval 0,1s maka dibuatkan identifikasi model sistem open loop dan dapat dilihat perbedaannya pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Open Loop 1200 RPM

Berdasarkan data yang diperoleh, dimana saat identifikasi model secara *open loop* lalu dilihat respon alami ada kecepatan motor induksi tiga fasa sesuai pada Gambar 4.3, didapat *time delay* (L) untuk interval 0,25s yaitu 1,25s sedangkan interval 0,1s yaitu 0,8s, kemudian untuk *rise time* (tr) pada interval 0,25s yaitu 8,25s sedangkan interval 0,1s yaitu 6,7s. Dapat diamati dan diidentifikasi model sistemnya dengan perhitungan Ziegler-Nichols *open loop* untuk menghitung parameter kontrol P, PI dan PID, perhitungannya sesuai dengan persamaan rumus (2.8) dan (2.9).

- Open loop 0,25 s

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta MV} = \frac{1200}{169} = 7,1 \text{ RPM/PWM}$$

$$T = (63\% \times 1200) = 756 \text{ RPM}$$

Mencari waktu saat 756 RPM

Pada Gambar Grafik 4.3. Pada waktu kisaran 5,25 – 5,5 s, pada waktu 5,25s terukur 720 RPM dan pada waktu 5,5s terukur 800 RPM

$$\frac{x - 5,25}{5,5 - 5,25} = \frac{756 - 720}{800 - 720}$$

$$\frac{x - 5,25}{0,25} = \frac{36}{80}$$

$$x = \frac{429}{80} = 5,3625$$

$$x = T = \mathbf{5,3625s}$$

$$L = \mathbf{1,25s}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai gain (K) 7,1, konstanta waktu (τ) 5,3625s, dan waktu tunda (L) 1,25s. Parameter tersebut kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan parameter awal pengontrol P, PI dan PID untuk interval 0,25s menggunakan metode Ziegler – Nichols. Dengan target yang diharapkan *rise time* (t_r) pada waktu 5,5s dan *time delay* (t_d) pada waktu 0,625s.

- Open Loop Interval 0,1 s

$$K = \frac{\Delta PV}{\Delta MV} = \frac{1200}{169} = \mathbf{7,1 \text{ RPM/PWM}}$$

$$T = (63\% \times 1200) = 756 \text{ RPM}$$

Mencari waktu saat 756 RPM

Pada Gambar Grafik 4.3. Pada waktu kisaran 5,7 – 5,8 s, pada waktu 5,7s terukur 750 RPM dan pada waktu 5,8s terukur 900 RPM

$$\frac{x - 5,7}{5,8 - 5,7} = \frac{756 - 750}{900 - 750}$$

$$\frac{x - 5,7}{0,1} = \frac{6}{150}$$

$$x = \frac{713}{125} = 5,704$$

$$x = T = \mathbf{5,704s}$$

$$L = \mathbf{0,8s}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai gain (K) 7,1, konstanta waktu (τ) 5,704s, dan waktu tunda (L) 0,8s. Parameter tersebut kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan parameter awal pengontrol P, PI dan PID untuk interval 0,1s menggunakan metode Ziegler – Nichols. Dengan target yang diharapkan *rise time* (t_r) pada waktu 5,7s dan *time delay* (t_d) pada waktu 0,4s.

4.3.2 Parameter P, PI dan PID Dengan Ziegler Nichols Open Loop

Setelah pencarian nilai parameter *gain* (K), kontanta waktu (τ), waktu tunda (L). Langkah berikutnya adalah menghitung parameter awal P, PI dan PID berdasarkan tabel 2.13. Berikut merupakan hasil perhitungannya.

A. Perhitungan Parameter P, PI dan PID Interval 0,25s

1. Perhitungan metode P

$$\bullet \quad Kp = \frac{T}{KL} = \frac{5,3625 \text{ s}}{\frac{7,1 \text{ rpm}}{\text{pwm}} \times 1,25 \text{ s}}$$

$$Kp = \mathbf{0,604225}$$

$$\bullet \quad Ti = \infty \text{ s}$$

$$\bullet \quad Td = 0 \text{ s}$$

2. Perhitungan metode PI

$$\bullet \quad Kp = \frac{0,9}{K} \times \frac{T}{L} = \frac{0,9}{7,1 \text{ rpm/pwm}} \times \frac{5,3625 \text{ s}}{1,25 \text{ s}}$$

$$= \frac{3861}{7100} = \mathbf{0,543803}$$

$$\bullet \quad Ti = 3,33 \times L$$

$$= 3,33 \times 1,25 \text{ s}$$

$$= 4,1625 \text{ s}$$

$$\bullet \quad Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{0,543803}{4,1625}$$

$$= \mathbf{0,136043}$$

$$\bullet \quad Td = 0$$

3. Perhitungan metode PID

$$\bullet \quad Kp = \frac{1,2}{K} \times \frac{T}{L} = \frac{1,2}{7,1 \text{ rpm/pwm}} \times \frac{5,3625 \text{ s}}{1,25 \text{ s}}$$

$$= \frac{1287}{1775} = \mathbf{0,72507}$$

$$\bullet \quad Ti = 2 \times L$$

$$= 2 \times 1,25 \text{ s}$$

$$= 2,5 \text{ s}$$

$$\bullet \quad Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{0,72507}{2,5}$$

$$= 0,290028$$

- $Td = 0,5 \times L$
 $= 0,5 \times 1,25 \text{ s}$
 $= 0,625 \text{ s}$
- $Kd = Kp \times Td$
 $= 0,72507 \times 0,625$
 $= 0,45316875$

B. Perhitungan Parameter P, PI dan PID Interval 0,1s

1. Perhitungan metode P

- $Kp = \frac{T}{KL} = \frac{5,704 \text{ s}}{\frac{7,1 \text{ rpm}}{pwm} \times 0,8 \text{ s}}$
 $Kp = 1,00414$

- $Ti = \infty \text{ s}$
- $Td = 0 \text{ s}$

2. Perhitungan metode PI

- $Kp = \frac{0,9}{K} \times \frac{T}{L} = \frac{0,9}{7,1 \text{ rpm/pwm}} \times \frac{5,704 \text{ s}}{0,8 \text{ s}}$
 $= \frac{6417}{7100} = 0,903728$
- $Ti = 3,33 \times L$
 $= 3,33 \times 0,8 \text{ s}$
 $= 2,664 \text{ s}$
- $Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{0,903728}{2,664}$
 $= 0,339237$
- $Td = 0$

3. Perhitungan metode PID

- $Kp = \frac{1,2}{K} \times \frac{T}{L} = \frac{1,2}{7,1 \text{ rpm/pwm}} \times \frac{5,704 \text{ s}}{0,8 \text{ s}}$
 $= \frac{364}{1775} = 1,20507$
- $Ti = 2 \times L$

$$= 2 \times 0,8 \text{ s}$$

$$= 1,6 \text{ s}$$

$$\bullet \quad Ki = \frac{Kp}{Ti} = \frac{1,20507}{1,6}$$

$$= 0,75310625$$

$$\bullet \quad Td = 0,5 \times L$$

$$= 0,5 \times 0,8 \text{ s}$$

$$= 0,4 \text{ s}$$

$$\bullet \quad Kd = Kp \times Td$$

$$= 1,20497 \times 0,4$$

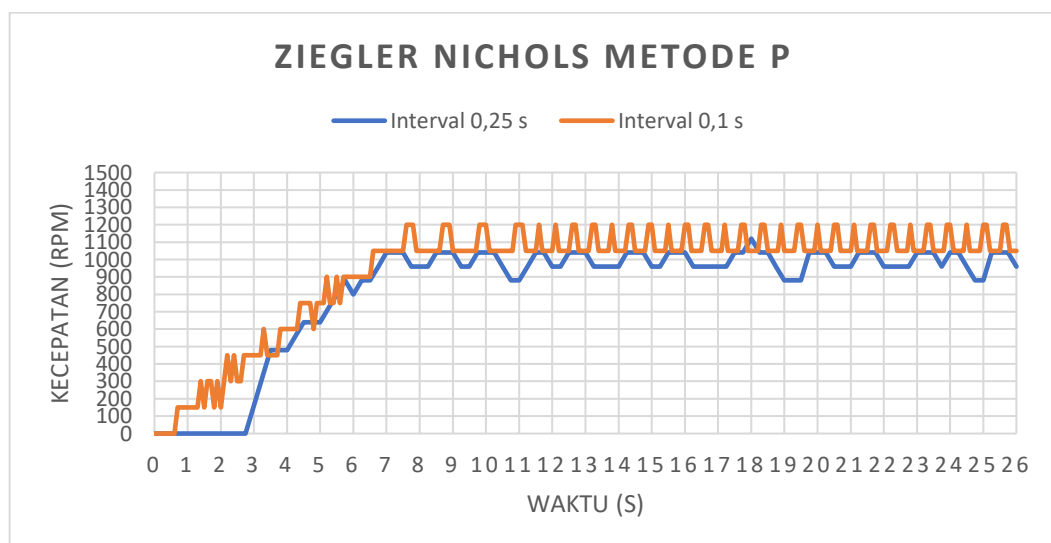
$$= 0,481988$$

4.3.3 Pengujian Metode Berdasarkan Hasil Kp, Ki, Kd ke Dalam Sistem.

Pengujian metode P, PI dan PID berdasarkan dengan hasil perhitungan Kp, Ki dan Kd ke dalam sistem bertujuan untuk mengetahui kinerja alat dan perbandingan ketika interval 0,25s dan interval 0,1s saat melakukan proses pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa.

A. Pengujian Metode P

Pada pengujian ini, nilai parameter P untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $Kp = 0,604225$, sedangkan nilai parameter P untuk interval 0,1s yang digunakan adalah $Kp = 1,00414$. Berikut adalah data hasil pengujian metode P.

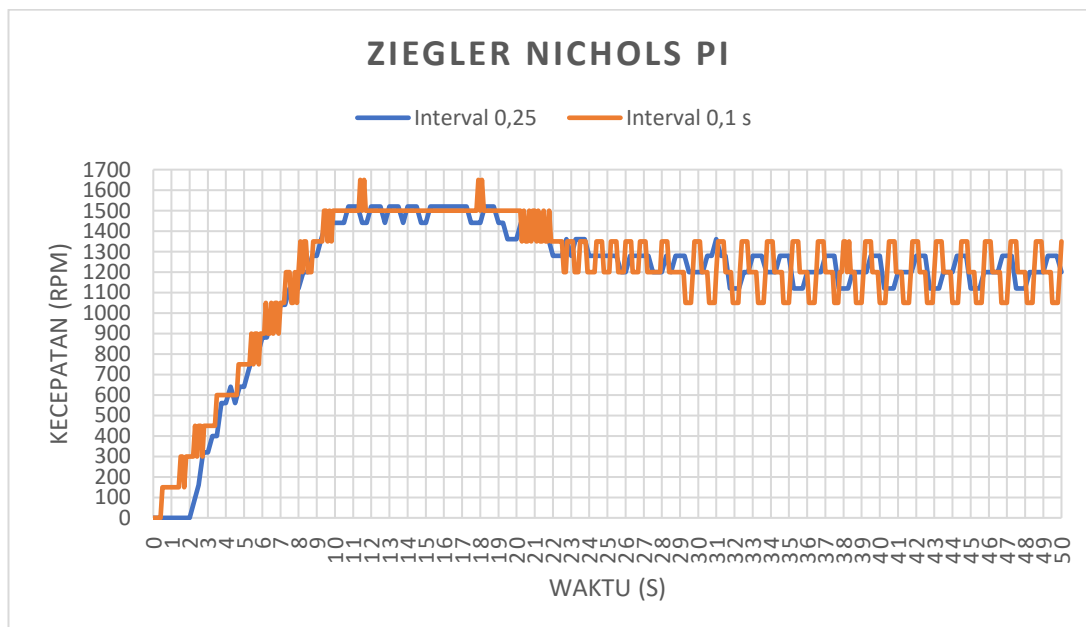


Gambar 4. 4 Grafik Respon Metode P Tuning Ziegler-Nichols

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada tahap awal, untuk interval 0,25s dan interval 0,1s dapat terlihat dengan jelas perbedaan *time delay* (td), untuk interval 0,25s *time delay* yang dialami yaitu 2,75s dan tidak dapat meraih *setpoint*. Berbeda dengan interval 0,1s *time delay* yang dialami adalah 0,6s yang berarti lebih cepat 0,2s dibandingkan sistem open loop interval 0,1s, kemudian dapat meraih *setpoint* atau *risetime* (tr) pada waktu 6,6s. Akan tetapi saat sudah menyentuh *setpoint* 1200 RPM dikarenakan *error* yang dialami sistem adalah 0 maka sistem tidak mampu menyesuaikan kembali nilai PWM, yang terjadi sistem berisolasi. Isolasi kecepatan juga diakibatkan interval waktu 0,1s yang masih lambat sehingga respon sistem masih tidak tepat dengan nilai aktual yang sesungguhnya. Dapat disimpulkan ketika interval pemrosesan sistem lebih cepat maka hasil dapat menjadi lebih baik.

B. Pengujian Metode PI

Pada pengujian ini, nilai parameter PI untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,543803$ dan $K_i = 0,136043$, sedangkan nilai parameter PI untuk interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,903728$ dan $K_i = 1,20497$. Berikut adalah data hasil pengujian metode PI.

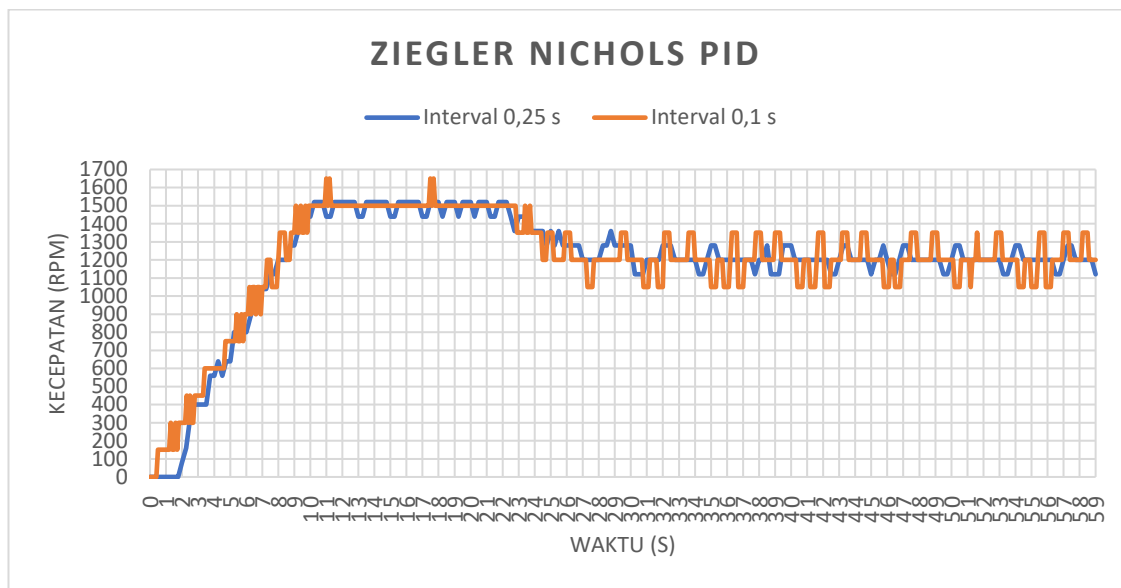


Gambar 4. 5 Grafik Respon Metode PI *Tuning Ziegler-Nichols*

Gambar 4.5 Menunjukkan bahwa pada tahap awal, untuk interval 0,25s dan interval 0,1s dapat terlihat dengan jelas perbedaan *time delay* (td), untuk interval 0,25s *time delay* (td) yang dialami yaitu 2s sedangkan pada interval 0,1s *time delay* (td) yang dialami yaitu 0,4s. Dalam segi *time delay* (td) lebih baik interval 0,1s dikarenakan lebih cepat dibandingkan *openloop* intervalnya. Untuk *risetime* (tr) yang dialami oleh kedua interval juga berbeda, pada interval 0,25s *risetime* (tr) yaitu 7s sedangkan interval 0,1s yaitu 6,5s. Akan tetapi keduanya mengalami *overshoot* 25% dari *setpoint*. Hal ini dikarenakan nilai Kp dan Ki yang masih terlalu tinggi sehingga pengakumulasian *error* masih terlalu besar saat diawal. Kemudian dikarenakan dari awal *starting* sistem pada kedua interval berbeda maka untuk *settling time* (ts) juga berbeda hal ini dikarenakan kemampuan interval 0,1s melakukan pemrosesan sistem yang lebih cepat dibandingkan interval 0,25s. Pada kedua interval masih mengalami osilasi saat sudah mencapai *setpoint*. Hal ini dikarenakan tiga faktor yaitu, interval respon sistem yang masih kurang cepat, tuning PI yang masih kurang tepat dan toleransi *error* sensor masih terlalu besar yang mengakibatkan perhitungan nilai *error* oleh Kp dan Ki menjadi terlalu besar. Dikarenakan masih mengalami *overshoot* 25% yang cukup lama karena faktor nilai Kp dan Ki yang masih belum tepat, maka dari itu dilakukan *tuning trial and error*. Untuk memastikan nilai *time delay* (td), *rise time* (tr) dan *settling time* (ts) mendekati target.

C. Pengujian Metode PID

Pada pengujian ini, nilai parameter PID untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,72507$, $K_i = 0,290028$ dan $K_d = 0,453168875$, sedangkan nilai parameter PID untuk interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 1,20497$, $K_i = 0,75310625$ dan $K_d = 0,481988$. Berikut adalah data hasil pengujian metode PID.



Gambar 4. 6 Grafik Respon Metode PID *Tuning Ziegler-Nichols*

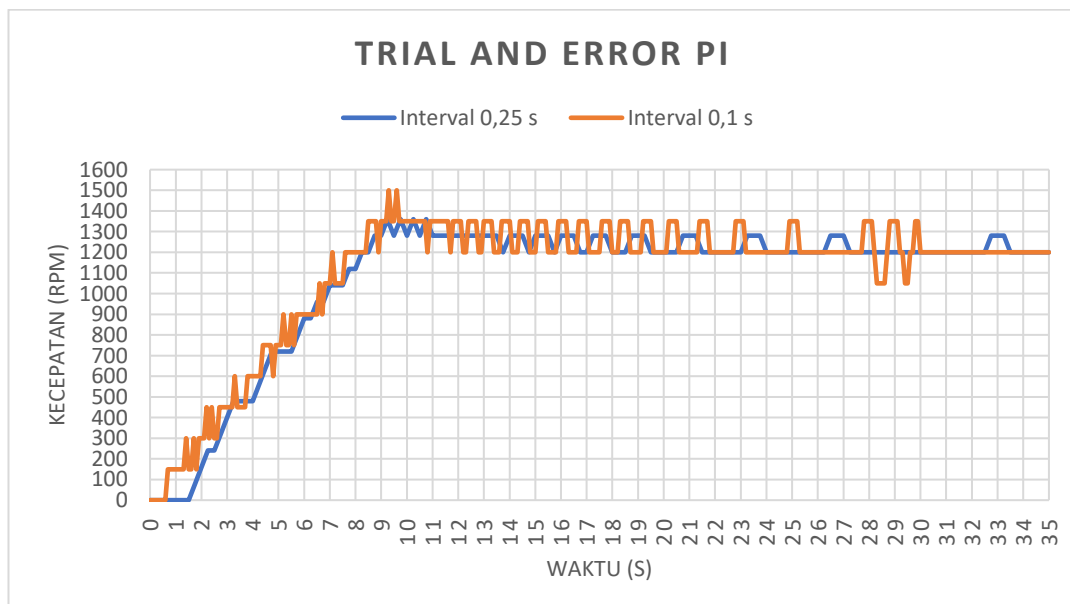
Gambar 4.6 menunjukkan pada tahap awal, untuk interval 0,25s dan interval 0,1s dapat terlihat dengan jelas perbedaan *time delay* (t_d). Untuk interval 0,25s *time delay* yang dialami yaitu 1,75s, berbeda dengan interval 0,1s *time delay* yang dialami yaitu 0,7s. Dalam segi *time delay* (t_d) lebih baik interval 0,1s dikarenakan pemrosesan kontrol sistem yang lebih cepat dibandingkan interval 0,25s dan lebih cepat juga jika dibandingkan dengan *open loop* interval 0,1s. Untuk *rise time* (t_r) yang dialami oleh kedua interval juga berbeda, pada interval 0,25s *rise time* (t_r) yaitu 7s sedangkan interval 0,1s yaitu 6,5s. Akan tetapi keduanya masih mengalami *overshoot* 25% dari *setpoint* yang seharusnya dengan adanya parameter D dapat meredam *overshoot* dengan baik. Dikarenakan dari awal *starting* sistem pun sudah berbeda maka *settling time* (t_s) juga berbeda dan masih terlalu lama dikarenakan *overshoot* yang lama. *Settling time* (t_s) pada interval 0,1s lebih cepat dikarenakan kemampuan 0,1s melakukan pemrosesan sistem yang lebih cepat dibandingkan interval 0,25s. Dikarenakan masih mengalami *overshoot* 25% yang cukup lama karena faktor nilai K_p , K_i dan K_d yang masih belum tepat, maka dari itu dilakukan *tuning trial and error*. Untuk memastikan nilai *time delay* (t_d), *rise time* (t_r) dan *settling time* (t_s) mendekati target.

4.3.4 Pengujian Metode PI dan PID Dengan *Tuning Trial and Error*

Pengujian metode PI dan PID setelah *tuning trial and error* ke dalam sistem bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari hasil sebelumnya dan mengetahui kinerja alat melakukan proses pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa, implementasi *tuning trial and error* dilakukan dengan cara menurunkan nilai K_p , K_i dan K_d setiap 10% hingga didapatkan nilai yang tepat dengan hasil *time delay* (t_d), *rise time* (t_r) dan *settling time* (t_s) mendekati target.

A. Pengujian Metode PI Setelah *Tuning Trial and Error*

Pada pengujian ini, nilai parameter PI pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$ diturunkan 80% dari sebelumnya dan $K_i = 0,0408129$ diturunkan 70% dari sebelumnya, pada interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,180746$ diturunkan 80% dari sebelumnya dan $K_i = 0,05088$ diturunkan 85% dari sebelumnya. Alasan diturunkan nilai K_p dan K_i dikarenakan respon sistem pada sebelumnya masih mengalami *overshoot* yang cukup lama faktor dari K_p dan K_i yang masih terlalu besar, memengaruhi perhitungan terhadap *error* yang ada. Berikut adalah data hasil pengujian setelah *tuning trial and error*.



Gambar 4. 7 Grafik Respon Metode PI *Tuning Trial and Error*

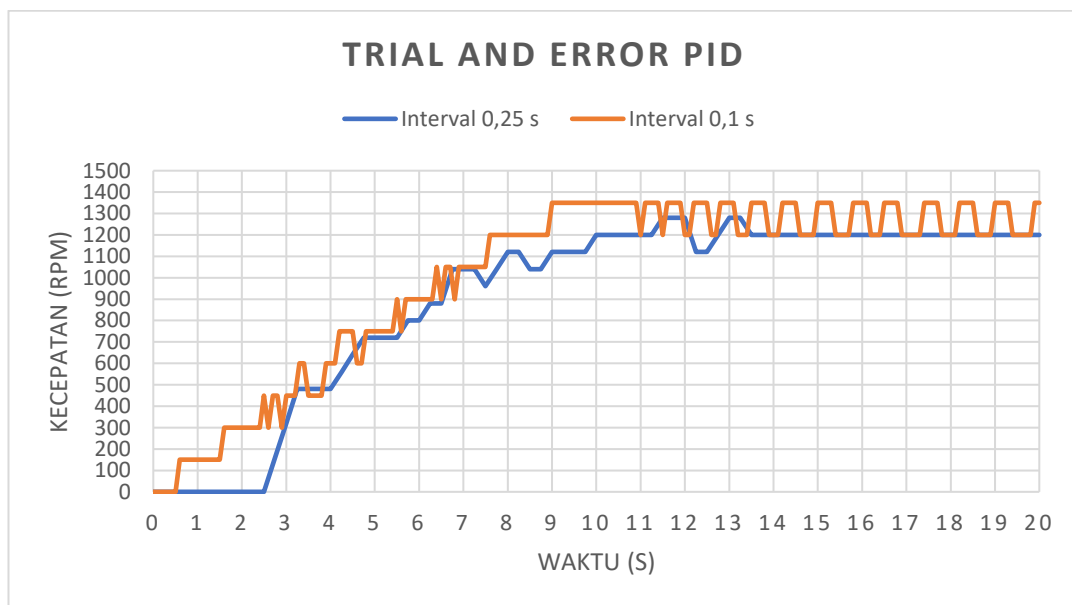
Gambar 4.7 menunjukkan bahwa sama dalam segi *time delay* (t_d) yaitu ada perbedaan pada interval 0,25s dan 0,1s. Akan tetapi untuk interval 0,1s setelah

tuning trial and error time delay (td) yang dialami yaitu 0,6s, lebih lambat 0,2s dibandingkan dengan Ziegler-Nichols, hal ini dikarenakan penurunan nilai Kp dan Ki yang memengaruhi keagresifan nilai PWMoutput pada *starting* sistem, berbeda dengan interval 0,25s lebih cepat 0,5s yaitu 1,5s dibandingkan Ziegler-Nichols sebelumnya. Kemudian dikarenakan *time delay* (td) yang lebih lama pada interval 0,1s hal ini memengaruhi *rise time* (tr) yaitu 6,6s lebih lambat 0,4s dibandingkan Ziegler-Nichols sebelumnya, berbeda dengan interval 0,25s *rise time* (tr) yang dialami sama seperti sebelumnya yaitu 7s walaupun *time delay* (td) lebih cepat, hal ini dikarenakan masih terlalu lambat respon sistem kontrol terhadap aktuator. Akan tetapi hal yang paling signifikan dan lebih baik dibandingkan sebelumnya yaitu *overshoot* dan *settling time* (ts). Jika sebelumnya masih mengalami *overshoot* yang lama sedangkan saat sudah *tuning* menjadi lebih baik walaupun masih mengalami *overshoot* tetapi lama seperti sebelumnya. Hal ini dikarenakan karakteristik P dan I itu sendiri tidak ada yang berperan sebagai peredam *overshoot* hanya berfokus pada kecepatan *rise time* (tr) dan *time delay* (td). Untuk interval 0,1s masih mengalami *overshoot* hingga 25% dikarenakan pembacaannya yang lebih cepat jadi pembacaannya lebih mendekati *real time* actuator dibandingkan dengan interval 0,25s yang masih terlalu lama jadi masih ada *miss* respon kontrol sistem. Dapat disimpulkan menggunakan *tuning trial and error* pada metode PI, dikarenakan nilai Kp dan Ki diturunkan jadi memperlambat *time delay* (td) dan *rise time* (tr) dan sangat menjadi lebih baik untuk *overshoot* dan *settling time* (ts).

B. Pengujian Metode PID Setelah *Tuning* dan Diberi Gangguan

Pada pengujian ini, nilai parameter PID pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$ diturunkan 80% dari sebelumnya, $K_i = 0,034011$ diturunkan 75% dari sebelumnya dan $K_d = 1,5$ dinaikan 230%, pada interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,255168$ diturunkan 75% dari sebelumnya, $K_i = 0,05088$ diturunkan 85% dari sebelumnya dan $K_d = 0,096398$ diturunkan 80% dari sebelumnya. Alasan diturunkan nilai Kp, Ki dan dinaikan nilai Kd pada interval 0,25s dikarenakan respon sistem pada sebelumnya masih mengalami *overshoot* yang cukup lama faktor dari Kp dan Ki yang masih terlalu besar dan Kd masih

kecil, sedangkan pada interval 0,1 s diturunkan nilai K_p , K_i dan K_d dikarenakan pada sebelumnya nilainya masih terlalu besar, hal ini memengaruhi perhitungan terhadap *error* yang ada. Berikut adalah data hasil pengujian setelah *tuning trial and error*.



Gambar 4. 8 Grafik Respon Metode PID *Tuning Trial and Error*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa sama dalam segi *time delay* (t_d) yaitu ada perbedaan pada interval 0,25s dan 0,1s akan tetapi untuk interval 0,1s setelah *tuning trial and error time delay* (t_d) yang dialami yaitu 0,5s lebih lambat 0,1s dibandingkan dengan Ziegler-Nichols, berbeda dengan interval 0,25s *time delay* (t_d) yang dialami yaitu 2,5s lebih lama 0,75s dibandingkan dengan Ziegler-Nichols sebelumnya. Kemudian dikarenakan *time delay* (t_d) yang lebih lama pada interval 0,1s hal ini memengaruhi *rise time* (t_r) yaitu 6,4s lebih lambat 0,1s dibandingkan Ziegler-Nichols sebelumnya, berbeda dengan interval 0,25s *rise time* (t_r) yang dialami yaitu 6,75s lebih cepat 0,25s dari Ziegler-Nichols sebelumnya. Hal ini dikarenakan *time delay* (t_d) yang lebih lambat atau lebih cepat dibandingkan sebelumnya memengaruhi *rise time* (t_r). Kemudian yang paling signifikan perbandingannya dibandingkan Ziegler-Nichols sebelumnya yaitu *overshoot* dan *settling time* (t_s). Jika sebelumnya masih mengalami overshoot yang lama sedangkan saat sudah *tuning trial and error* menjadi lebih baik dan bahkan tidak

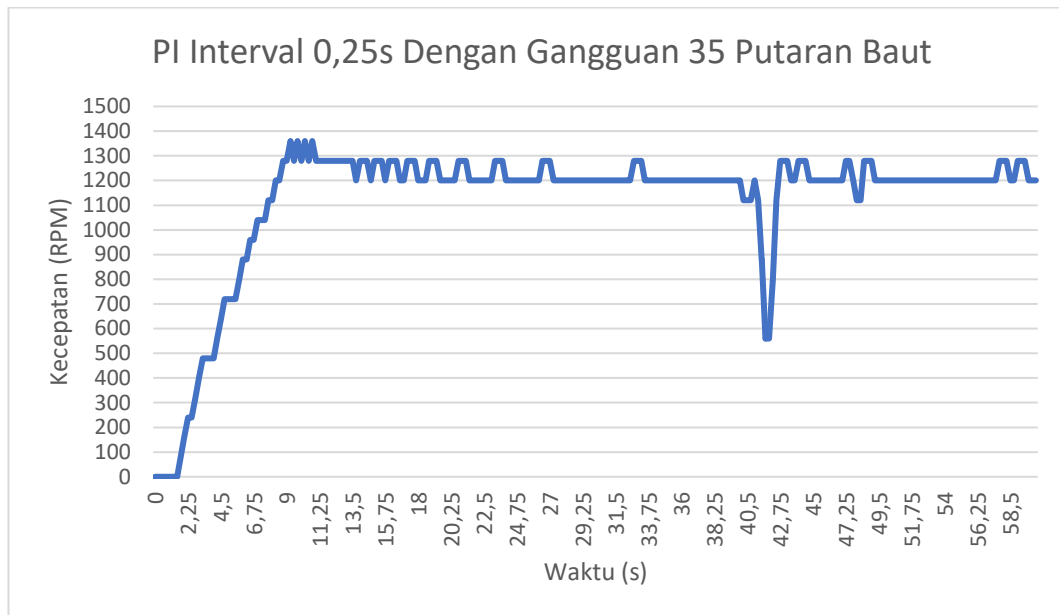
mengalami *overshoot*. Dapat disimpulkan menggunakan *tuning trial and error* pada metode PID dengan interval 0,1s dengan diturunkannya K_p 75%, K_i 85% dan K_d 80%, *time delay* (td) lebih lambat 0,1s, *rise time* (tr) lebih lambat 0,2s dan yang paling signifikan *settling time* (ts) lebih cepat 15,7s. *Tuning trial and error* pada metode PID dengan interval 0,25s dengan diturunkan K_p 80% dan K_i 75% sedangkan K_d dinaikan 230%, *time delay* (td) lebih lama 0,75s, *rise time* (tr) lebih cepat 0,25s dan yang paling signifikan *settling time* (ts) 8,75s. Dikarenakan pada interval 0,25s tidak sesuai yang seharusnya ketika *time delay* (td) lebih lama maka seharusnya *rise time* (tr) pun lebih lama, hal ini dikarenakan terlalu lamanya interval respon kontrol sistem, yang terjadi adalah *miss* pembacaan aktual yang seharusnya dengan respon kontrol sistem mengakibatkan aksi respon kontrol menjadi kurang baik.

4.3.5 Pengujian Metode PI dan PID Dengan Gangguan

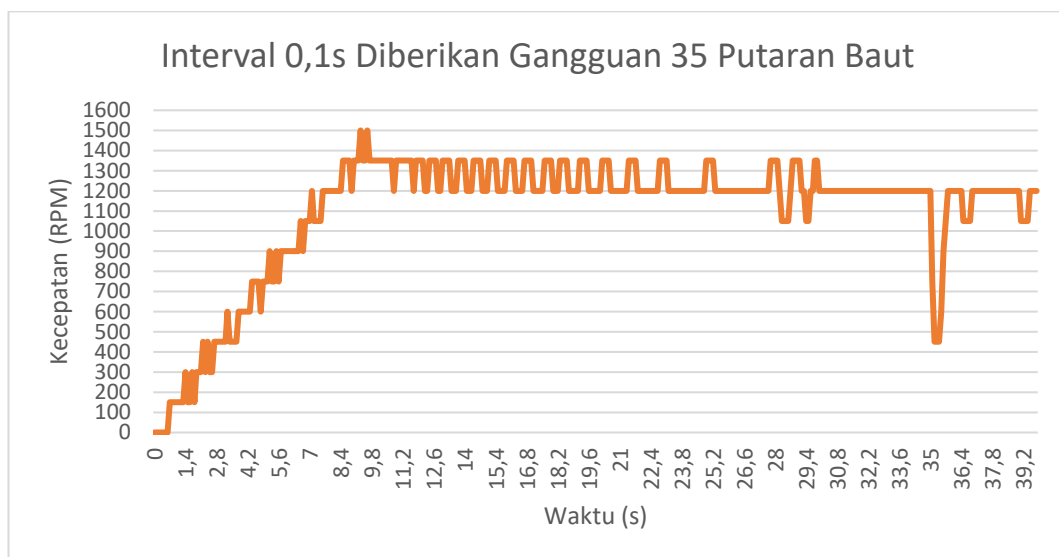
Pengujian metode PI dan PID setelah *tuning trial and error* ke dalam sistem bertujuan untuk mengetahui perbandingan dari hasil sebelumnya dan mengetahui kinerja alat melakukan proses pengendalian kecepatan motor induksi tiga fasa, Kemudian untuk mengetahui bagaimana perbedaan dinamika kontrol dari setiap metode perlu diberikan gangguan dan mengetahui bagaimana respon sistem tersebut.

A. Pengujian Metode PI *Tuning Trial and Error* Dengan Diberikan Gangguan

Pada pengujian ini, nilai parameter PI pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$, $K_i = 0,034011$, pada interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,180746$ dan $K_i = 0,05088$, gangguan yang diberikan berupa tekanan cakram rem dengan besar tekanan diukur dengan menggunakan dorongan baut sebanyak 35 putaran baut. Respon ketika diberikan gangguan untuk interval 0,25s dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan untuk interval 0,1s dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 9 Metode PI Interval 0,25s Diberikan Gangguan



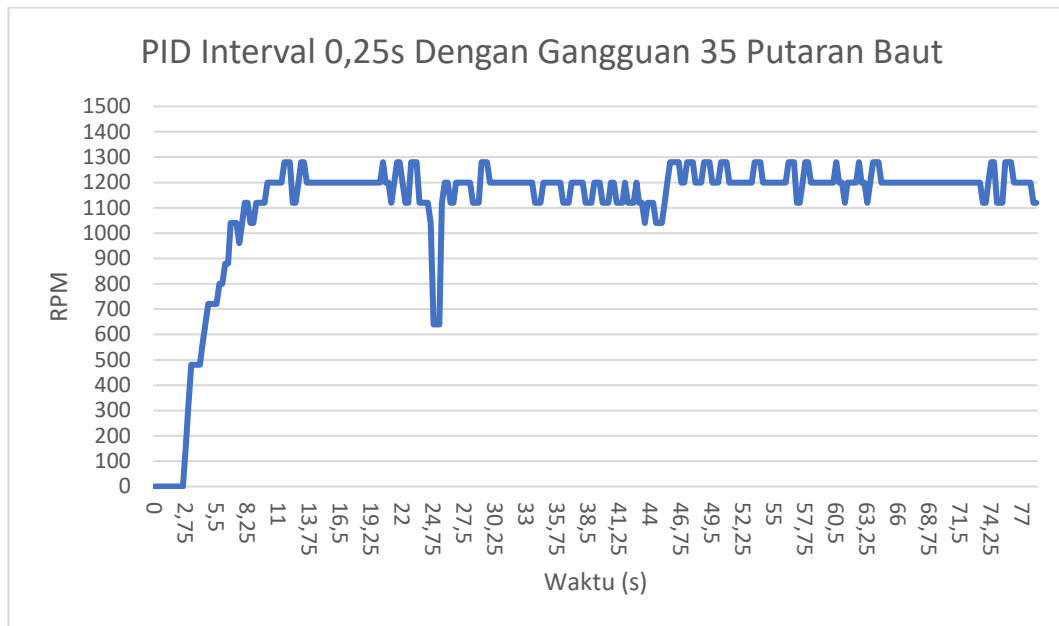
Gambar 4. 10 Metode PI Interval 0,1s Diberikan Gangguan

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa sama dalam segi *time delay* (t_d) *rise time* (t_r) dan *settling time* (t_s) yaitu sama seperti sebelumnya akan tetapi disini ada perbedaan bagaimana respon sistem ketika sedang stabil dan diberikan gangguan. Pada interval 0,25s diberikan gangguan pada detik 41s turunnya kecepatan yang terbaca pada interval 0,25s yaitu hingga 560 RPM kemudian kembali pada keadaan *steady state* atau pada toleransi *error*nya pada detik 42,5s yang berarti untuk kembali ke keadaan *steady state* membutuhkan waktu

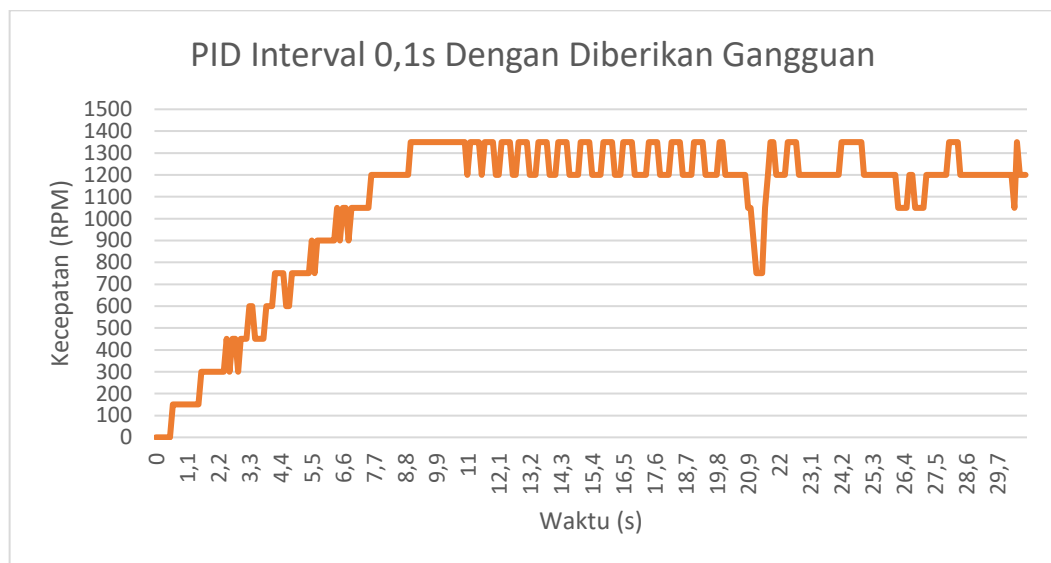
1,5s. Pada interval 0,1s diberikan gangguan pada detik 35,1s turunnya kecepatan yang terbaca pada interval 0,1s yaitu hingga 450 RPM kemudian kembali pada keadaan *steady state* atau pada toleransi *error*nya pada detik 35,8s yang berarti untuk kembali ke keadaan *steady state* membutuhkan waktu 0,7s. Pada kecepatan mengembalikan untuk ke keadaan *steady state* lebih cepat pada interval 0,1s dan dengan gangguan yang sama pada interval 0,1s dapat membaca lebih akurat dan cepat walaupun dengan toleransi *error* yang lebih besar, dikarenakan pada interval 0,25s pembacaannya masih terlalu lambat sehingga ada *miss* pembacaan yang dimana tidak membaca saat RPM terendah berbeda dengan interval 0,1s, kemudian dikarenakan respon kontrol yang cepat pada interval 0,1s maka dari itu untuk mengembalikannya ke keadaan *steady state* untuk interval 0,1s lebih cepat kembali dibandingkan interval 0,25s.

B. Pengujian Metode PID *Tuning Trial and Error* Dengan Diberikan Gangguan

Pada pengujian ini, nilai parameter PID pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$, $K_i = 0,034011$ dan $K_d = 1,5$. Pada interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,180746$, $K_i = 0,05088$ dan $K_d = 0,096398$. Gangguan yang diberikan berupa tekanan cakram rem dengan besar tekanan diukur dengan menggunakan dorongan baut sebanyak 35 putaran baut. Respon ketika diberikan gangguan untuk interval 0,25s dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan untuk interval 0,1s dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 11 Metode PID Interval 0,25s Diberikan Gangguan



Gambar 4. 12 Metode PID Interval 0,1s Diberikan Gangguan

Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa sama dalam segi *time delay* (t_d) *rise time* (t_r) dan *settling time* (t_s) yaitu sama seperti sebelumnya akan tetapi disini ada perbedaan bagaimana respon sistem ketika sedang stabil dan diberikan gangguan. Pada interval 0,25s diberikan gangguan pada detik 24,5s turunnya kecepatan yang terbaca pada interval 0,25s yaitu hingga 640 RPM kemudian kembali pada keadaan *steady state* atau pada toleransi *error*nya pada detik

25,25s yang berarti untuk kembali ke keadaan *steady state* membutuhkan waktu 0,75s yang berarti dibandingkan dengan metode PI sebelumnya dalam performa membalikkan keadaannya ke *setpoint* lebih cepat 0,75s. Pada interval 0,1s diberikan gangguan pada detik 21s turunnya kecepatan yang terbaca pada interval 0,1s yaitu hingga 750 RPM kemudian kembali pada keadaan *steady state* atau pada toleransi *error*nya pada detik 21,5s yang berarti untuk kembali ke keadaan *steady state* membutuhkan waktu 0,5s yang berarti dibandingkan dengan metode PI sebelumnya dalam performa membalikkan keadaannya ke *setpoint* lebih cepat 0,2s. Pada kecepatan mengembalikan untuk ke keadaan *steady state* lebih cepat pada interval 0,1s dan dengan gangguan yang sama pada interval 0,1s dapat membaca lebih akurat dan cepat walaupun dengan toleransi *error* yang lebih besar, dikarenakan pada interval 0,25s pembacaannya masih terlalu lambat sehingga ada *miss* pembacaan yang dimana tidak membaca saat RPM terendah berbeda dengan interval 0,1s, kemudian dikarenakan respon kontrol yang cepat pada interval 0,1s maka dari itu untuk mengembalikannya ke keadaan *steady state* untuk interval 0,1s lebih cepat kembali dibandingkan interval 0,25s.

4.3.6 Analisa Hasil Perbandingan Metode P, PI dan PID Dengan Perbedaan Interval 0,25s dan 0,1s

Pengujian sistem kendali kecepatan motor induksi tiga fasa dengan perbandingan kontrol P, PI dan PID pada interval 0,25 s dan 0,1 s dengan *setpoint* 1200 RPM. Pendekatan kontrol P, PI dan PID menggunakan Ziegler-Nichols dan *Trial and error*, kemudian didapatkan parameter *time delay* (td), *rise time* (tr) dan *settling time* (ts) untuk dianalisis lebih lanjut. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 adalah analisis dari hasil pengujian tersebut.

Tabel 4. 4 Hasil Perbandingan Pendekatan Ziegler-Nichols

Metode	Interval (s)	<i>Time Delay</i> (s)	<i>Rise Time</i> (s)	<i>Settling Time</i> (s)
P	0,25	2,75	-	-
P	0,1	0,6	6,6	-
PI	0,25	2	7	31,5

PI	0,1	0,4	6,5	22,5
PID	0,25	1,75	7	25,75
PID	0,1	0,4	6,2	22,5

Penjelasan Parameter pada pendekatan Ziegler-Nichols:

1. Waktu Tunda (*delay time*), t_d : Pada metode P dengan interval 0,25s waktu tunda yang dialami yaitu 2,75s berbeda cukup signifikan dengan interval 0,1s waktu tunda yang dialami yaitu 0,6s, untuk metode PI dengan interval 0,25s yang dialami adalah 2s berbeda cukup signifikan juga jika dibandingkan dengan interval 0,1s yaitu 0,4s, untuk metode PID dengan interval 0,25s yang dialami adalah 1,75s berbeda cukup signifikan juga dengan interval 0,1s yaitu 0,4s. Hal ini dikarenakan pengaruh dari terlalu lambatnya pengiriman data dengan interval 0,25s mengakibatkan kontrol menjadi lebih lama jadi tidak sesuai dengan nilai aktualnya, kemudian untuk karakteristik P itu sendiri dapat terlihat pada perbedaan waktu tundanya pada masing-masing metode ketika hanya menggunakan metode P saja maka nilai K_p akan lebih tinggi 10% dibandingkan nilai K_p pada metode PI hal ini karakteristik P dan I dapat memengaruhi cepatnya waktu tunda berbeda pada metode PID K_p dinaikkan 20% dibandingkan metode P dikarenakan ada parameter D yang dimana akan memperlambat waktu tunda jika tidak dinaikkan.
2. Waktu naik (*rise time*), t_r : Pada metode P dengan interval 0,25s menunjukan bahwa kontrol sistem tidak mampu mencapai 90% *setpoint* hal ini dikarenakan respon sistem yang selalu lambat, mengakibatkan osilasi kecepatan dibawah *setpoint* dikarenakan telatnya respon kontrol, sedangkan pada interval 0,1s sistem mampu mencapai 90% *setpoint* yaitu saat 6,6s hal ini dikarenakan pada interval 0,1s respon sistem kontrol lebih cepat dibandingkan interval 0,25s. Pada metode PI dengan interval 0,25s waktu naik yang dialami yaitu 7s lebih lama 0,5s jika dibandingkan dengan interval 0,1s yaitu 6,5s, Hal serupa terjadi pada metode PID pada interval 0,25s waktu naik yang dialami yaitu 7s lebih lama 0,8s jika dibandingkan dengan interval 0,1s yaitu 6,2s. Hal ini sama seperti sebelumnya karena pengaruh perbedaan waktu respon kontrol. Untuk

karakteristik tiap parameter P, I dan D pada waktu naik ini juga sama pada penjelasan waktu tunda, yaitu yang berperan penting untuk cepatnya waktu naik adalah parameter P dan I sedangkan untuk parameter D jika terlalu besar maka akan memperlambat waktu naik.

3. Waktu tunak (*settling time*), *ts*: Waktu tunak atau waktu yang dibutuhkan saat kecepatan motor induksi dalam kondisi stabil atau dalam *steady state* sesuai dengan masing-masing interval dari nilai *setpoint*. Pada metode P dikedua interval sistem sulit mencapai keadaan stabil hal ini sesuai dengan karakteristik P itu sendiri hanya mengakumulasikan *error* secara langsung jadi ketika *error* 0 maka respon sistem tidak akan ada perubahan dengan waktu sebelumnya, Berbeda pada metode PI pada interval 0,25s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 31,5s berbeda signifikan dengan interval 0,1s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 22,5s. Metode PID pada interval 0,25s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 25,75s berbeda 2,25s dengan interval 0,1s yaitu 22,5s Hal ini sama seperti sebelumnya karena pengaruh perbedaan waktu respon kontrol. Untuk karakteristik tiap parameter P, I dan D pada waktu tunak berbeda dengan parameter waktu tunda dan waktu naik, jika P dan I terlalu besar maka akan memperlama waktu tunak dikarenakan akan mengakibatkan *overshoot* begitupun jika D terlalu besar akan mengakibatkan fluktuasi atau osilasi karena hasil selisih *error* saat ini dan sebelumnya menjadi terlalu besar.

Tabel 4. 5 Hasil Perbandingan Pendekatan Trial and Error

Metode	Interval (s)	<i>Time</i>	<i>Rise</i>	<i>Settling</i>
		<i>Delay (s)</i>	<i>Time (s)</i>	<i>Time (s)</i>
PI	0,25	1,5	7	11
PI	0,1	0,6	6,6	10,7
PID	0,25	2,5	6,75	8,75
PID	0,1	0,5	6,4	6,8

Penjelasan parameter pada pendekatan *trial and error*:

1. Waktu Tunda (*delay time*), t_d : Pada metode PI dengan interval 0,25s waktu tunda yang dialami yaitu 1,5s lebih cepat 0,5s dibandingkan sebelumnya sedangkan pada interval 0,1s waktu tunda yang dialami 0,6s lebih lama 0,2s dibandingkan sebelumnya, Untuk metode PID pada interval waktu tunda yang dialami yaitu 2,5s lebih lama 0,75s dibandingkan sebelumnya sedangkan interval 0,1s waktu tunda dialami 0,5s lebih lama 0,1s dibandingkan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik P dan I jika lebih kecil dibandingkan sebelumnya akan memengaruhi waktu tunda menjadi lebih lambat pengecualian pada metode PI interval 0,25s justru lebih cepat dikarenakan faktor interval waktu yang terlalu lama akibatnya tidak sesuai respon kontrol sistem dengan kondisi yang seharusnya.
2. Waktu naik (*rise time*), t_r : Pada metode PI dengan interval 0,25s waktu naik yang dialami yaitu 7s sama dengan sebelumnya, berbeda dengan interval 0,1s yaitu 6,6s lebih lambat 0,1s. Untuk metode PID dengan interval 0,25s waktu naik yang dialami 6,75s lebih cepat 0,25s dibandingkan sebelumnya, berbeda dengan interval 0,1 s yaitu 6,4s lebih lambat 0,2s dibandingkan sebelumnya, Hal ini pembahasan karakteristik P, I dan D sama dengan waktu tunda, akan tetapi ada perbedaan pada interval 0,25s dikarenakan parameter D nya dinaikkan seharusnya waktu naik lebih lambat dibandingkan sebelumnya akan tetapi yang terjadi justru lebih cepat 0,25s, hal ini dikarenakan respon sistem kontrol yang terlalu lama mengakibatkan kontrol yang seharusnya tidak sesuai dengan nilai aktual yang dibutuhkan karena lambatnya respon sistem kontrol.
3. Waktu tunak (*settling time*), t_s : Waktu tunak atau waktu yang dibutuhkan saat kecepatan motor induksi dalam kondisi stabil atau dalam *steady state* sesuai dengan masing-masing interval dari nilai *setpoint*. Pada metode PI pada interval 0,25s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 11s lebih cepat 20,5s dibandingkan sebelumnya berbeda dengan interval 0,1s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 10,7s lebih cepat 11,8s. Metode PID pada interval 0,25s kondisi *steady state* dicapai pada waktu 8,75s lebih cepat 17s dibandingkan sebelumnya, berbeda dengan interval 0,1s yaitu 6,8s lebih cepat 15,7s

dibandingkan sebelumnya. Hal ini dikarenakan *overshoot* yang berhasil diredam maka dari itu waktu tunak yang dicapai dari Metode PI dan PID pada setiap interval lebih cepat dibandingkan sebelumnya. Pada kedua interval dengan penurunan parameter P dan I maka *overshoot* dapat diredam dan untuk mencapai waktu tunak menjadi lebih cepat, akan tetapi untuk interval 0,25s parameter D dinaikan hingga 230% hal ini bentuk penyesuaian pada respon interval kontrol yang terlalu lama dikarenakan pada interval 0,25s tidak terlalu terlihat kontrol parameter D jika terlalu kecil karena terlalu lambat respon kontrolnya, berbeda dengan interval 0,1s parameter D juga diturunkan untuk menyesuaikan pada waktu tunda dan waktu naiknya agar tidak terlalu terganggu dan dapat meredam *overshoot* dengan baik.

Berdasarkan hasil analisis, jika dilihat waktu tunda (t_d), waktu naik (t_r), waktu tunak (t_s) metode P, PI dan PID dengan perbedaan interval 0,1s dan 0,25s dapat terlihat perbedaannya. Penjelasan analisis setiap metode dengan kedua interval adalah sebagai berikut:

- Metode P Ziegler-Nichols interval 0,25s : Nilai parameter P untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,604225$. Tidak memiliki waktu tunak (t_s) dan waktu naik (t_r) sedangkan waktu delay (t_d) yang dialami yaitu 2,75s, seharusnya ditargetkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols pada interval 0,25s waktu naik (t_r) yaitu 5,5s dan waktu tunda (t_d) yaitu 0,625s. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, faktor pertama dikarenakan nilai K_p belum tepat dikarenakan waktu tunda(t_d) dan waktu naik (t_r) yang masih jauh dari target. Faktor kedua lambatnya respon kontrol terhadap aktuator yang dimana jika respon setiap 0,25s maka akan selalu ada *miss* pembacaan sensor dengan nilai aktual atau kecepatan aktuator yang seharusnya mengakibatkan respon kontrolnya pun tidak tepat. Faktor ketiga adalah karakteristik motor induksi tiga fasa itu sendiri yang dimana ada hubungannya antara kecepatan dan torsi. Ketika motor induksi tiga fasa belum mendapat arus nominal maka torsinya rawan jatuh yang mengakibatkan kecepatannya menjadi berosilasi, maka dari itu dibutuhkan kecepatan respon kontrol yang lebih cepat.

- Metode P Ziegler – Nichols Interval 0,1 s: Nilai parameter P untuk interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 1,00414$. Tidak memiliki waktu tunak (t_s), akan tetapi berbeda dengan interval 0,25s, pada interval 0,1s memiliki waktu naik (t_r) 6,6s dan waktu tunda (t_d) 0,6s. Untuk waktu tunda (t_d) masih tidak sesuai dengan target yaitu 0,4s, begitupun untuk waktu naik (t_r) masih tidak sesuai dengan target yang seharusnya 5,7s. Hal ini sama dengan sebelumnya ada tiga faktor yaitu K_p yang masih belum tepat, interval respon kontrol sistem yang masih lama, dan karakteristik motor induksi tiga fasa itu sendiri yang harus disesuaikan kecepatan respon kontrolnya.
- Metode PI Ziegler-Nichols Interval 0,25s: Pada pengujian ini, nilai parameter PI untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,543803$ dan $K_i = 0,136043$. Memiliki waktu tunda (t_d) 2s, waktu naik (t_r) 7s dan waktu tunak (t_s) 31,5s. akan tetapi masih seperti sebelumnya masih jauh dengan target, seharusnya ditargetkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols pada interval 0,25s waktu naik (t_r) yaitu 5,5s dan waktu tunda (t_d) yaitu 0,625s. Kemudian mengalami *overshoot* 25% yang mengakibatkan waktu tunak menjadi lama. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, faktor pertama dikarenakan nilai K_p dan K_i yang masih terlalu tinggi mengakibatkan *overshoot* yang terlalu lama dikarenakan karakteristik K_p dan K_i dapat memengaruhi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r), seharusnya jika besar nilai K_p dan K_i akan mengurangi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) akan tetapi menimbulkan *overshoot* karena hasil perhitungan *error* yang menjadi besar nilainya. Faktor kedua yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor ketiga sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa.
- Metode PI *Trial and Error* Interval 0,25s : Pada pengujian ini, nilai parameter PI pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$ diturunkan 80% dari sebelumnya dan $K_i = 0,0408129$ diturunkan 70% dari sebelumnya. Memiliki waktu tunda (t_d) 1,5s lebih cepat 0,5s dengan sebelumnya, waktu naik (t_r) 7s sama seperti sebelumnya dan waktu tunak (t_s) 11s berbeda 20,5s dengan sebelumnya. Akan tetapi masih seperti sebelumnya masih jauh dengan target, seharusnya ditargetkan pada interval 0,25s waktu naik (t_r) yaitu 5,5s dan waktu

tunda (t_d) yaitu 0,625s. Perbedaan signifikan terdapat pada waktu tunak (t_s) dikarenakan *overshoot* yang berhasil diredam dari sebelumnya dengan penurunan nilai K_p dan K_i . Seharusnya dengan diturunkan nilai K_p dan K_i yang terjadi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) menjadi lebih lambat akan tetapi pada pengujian ini waktu delay (t_d) lebih cepat dan waktu naik sama seperti sebelumnya (t_r). Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, Faktor pertama yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor kedua sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa. Dikarenakan beberapa faktor tersebut jika tidak disesuaikan maka untuk mencari nilai K_p dan K_i dengan tepat dan mendapat respon kontrol yang baik akan sulit.

- Metode PI Ziegler-Nichols Interval 0,1s : Pada pengujian ini, nilai parameter PI untuk interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,903728$ dan $K_i = 0,339237$. Memiliki waktu tunda (t_d) 0,4s, waktu naik (t_r) 6,5s dan waktu tunak (t_s) 22,5s. untuk waktu tunda (t_d) sudah sesuai dengan target yaitu 0,4s, sedangkan untuk waktu naik (t_r) masih tidak sesuai dengan target yaitu 5,7s. Kemudian mengalami *overshoot* 25% yang mengakibatkan waktu tunak menjadi lama. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, faktor pertama dikarenakan nilai K_p dan K_i yang masih terlalu tinggi mengakibatkan *overshoot* yang terlalu lama dikarenakan karakteristik K_p dan K_i dapat memengaruhi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r), seharusnya jika besar nilai K_p dan K_i akan mengurangi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) akan tetapi menimbulkan *overshoot* karena hasil perhitungan *error* yang menjadi besar nilainya. Faktor kedua yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor ketiga sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa.
- Metode PI *Trial and Error* Interval 0,1s : Pada pengujian ini, nilai parameter PI pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,180746$ diturunkan 80% dari sebelumnya dan $K_i = 0,05088$ diturunkan 85% dari sebelumnya. Memiliki waktu tunda (t_d) 0,6s lebih lambat 0,2s dengan sebelumnya, waktu naik (t_r) 6,6s lebih lambat 0,1s dan waktu tunak (t_s) 10,7s lebih cepat 11,8s dengan sebelumnya. Akan tetapi dikarenakan K_p dan K_i yang diturunkan waktu tunda (t_d) dan waktu (naik) menjadi lebih lambat dan menjadi semakin jauh dengan target, seharusnya

ditargetkan pada interval 0,1s waktu naik (t_r) yaitu 5,7s dan waktu tunda (t_d) yaitu 0,4s. Perbedaan signifikan terdapat pada waktu tunak (t_s) dikarenakan *overshoot* yang berhasil diredam dari sebelumnya dengan penurunan nilai K_p dan K_i . Dikarenakan hasil masih tidak sesuai dengan target yang seharusnya. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, Faktor pertama yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor kedua sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa. Dikarenakan beberapa faktor tersebut jika tidak disesuaikan maka untuk mencari nilai K_p dan K_i dengan tepat dan mendapat respon kontrol yang baik akan sulit.

- Metode PID Ziegler-Nichols Interval 0,25s : Pada pengujian ini, nilai parameter PID untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,72507$, $K_i = 0,290028$ dan $K_d = 0,453168875$. Memiliki waktu tunda (t_d) 1,75s, waktu naik (t_r) 7s dan waktu tunak (t_s) 25,75s. akan tetapi masih seperti sebelumnya masih jauh dengan target, seharusnya ditargetkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols pada interval 0,25s waktu naik (t_r) yaitu 5,5s dan waktu tunda (t_d) yaitu 0,625s. Kemudian masih mengalami *overshoot* 25% yang mengakibatkan waktu tunak menjadi lama. Seharusnya dengan penambahan parameter D, *overshoot* dapat diredam dengan baik, akan tetapi berbeda dengan metode PI interval 0,25s Ziegler-Nicholas sebelumnya peran parameter D pada pengujian ini dapat terlihat karena waktu tunak (t_s) yang lebih cepat dibandingkan metode PI. Akan tetapi dengan metode PID masih jauh dengan target yang seharusnya dicapai. Hal ini dikarenakan tiga faktor yaitu, faktor pertama dikarenakan nilai K_p dan K_i yang masih terlalu tinggi dan lemahnya nilai K_d mengakibatkan *overshoot* yang terlalu lama dikarenakan karakteristik K_p dan K_i dapat memengaruhi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) dan K_d yang berfungsi meredam *overshoot*, seharusnya jika besar nilai K_p dan K_i akan mengurangi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) akan tetapi menimbulkan *overshoot*, oleh karena itu guna parameter K_d seharusnya meredam *overshoot*, karena K_p , K_i dan K_d belum tepat hasil perhitungan *error* yang menjadi besar nilainya. Faktor kedua yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor ketiga sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa.

- Metode PID *Trial and Error* Interval 0,25s : Pada pengujian ini, nilai parameter PID pada interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 0,108761$ diturunkan 80% dari sebelumnya, $K_i = 0,034011$ diturunkan 75% dari sebelumnya dan $K_d = 1,5$ dinaikan 230%. Memiliki waktu tunda (t_d) 2,5s lebih lambat 0,75s dibandingkan sebelumnya, waktu naik (t_r) 6,75s lebih cepat 0,25s dibandingkan sebelumnya dan waktu tunak (t_s) 8,75s lebih cepat 17s dibandingkan sebelumnya. Dengan penambahan parameter D jika dibandingkan dengan metode PI waktu tunak (t_s) yang dialami dapat lebih cepat. Akan tetapi masih seperti sebelumnya masih jauh dengan target, seharusnya ditargetkan pada interval 0,25s waktu naik (t_r) yaitu 5,5s dan waktu tunda (t_d) yaitu 0,625s. Perbedaan signifikan terdapat pada waktu tunak (t_s) dikarenakan *overshoot* yang berhasil diredam dari sebelumnya dengan penurunan nilai K_p dan K_i , dengan kenaikan nilai K_d . Seharusnya dengan diturunkan nilai K_p dan K_i yang terjadi waktu tunda (t_d) dan waktu naik (t_r) menjadi lebih lambat akan tetapi pada pengujian ini waktu naik (t_r). Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, Faktor pertama yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor kedua sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa. Dikarenakan beberapa faktor tersebut jika tidak disesuaikan maka untuk mencari nilai K_p , K_i dan K_d dengan tepat dan mendapat respon kontrol yang baik akan sulit.
- Metode PID Ziegler-Nichols Interval 0,1s : Pada pengujian ini, nilai parameter PID untuk interval 0,25s yang digunakan adalah $K_p = 1,204997$, $K_i = 0,75310625$ dan $K_d = 0,481988$. Memiliki waktu tunda (t_d) 0,4s, waktu naik (t_r) 6,25s dan waktu tunak (t_s) 24,5s. Untuk waktu delay (t_d) sudah sesuai target yaitu 0,4s, akan tetapi untuk waktu naik (t_r) masih seperti sebelumnya tidak sesuai dengan target, seharusnya ditargetkan dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols pada interval 0,1s waktu naik (t_r) yaitu 5,7s. Kemudian masih mengalami *overshoot* 25% yang mengakibatkan waktu tunak menjadi lama. Seharusnya dengan penambahan parameter D, *overshoot* dapat diredam dengan baik, akan tetapi berbeda dengan metode PI interval 0,1s Ziegler-Nicholas sebelumnya peran parameter D pada pengujian ini dapat terlihat karena waktu

tunak (ts) yang lebih cepat dibandingkan metode PI. Akan tetapi dengan metode PID masih jauh dengan target yang seharusnya dicapai. Hal ini dikarenakan tiga faktor yaitu, faktor pertama dikarenakan nilai K_p dan K_i yang masih terlalu tinggi dan nilai K_d yang belum tepat mengakibatkan *overshoot* yang terlalu lama dikarenakan karakteristik K_p dan K_i dapat memengaruhi waktu tunda (td) dan waktu naik (tr) dan K_d yang berfungsi meredam *overshoot*, seharusnya jika besar nilai K_p dan K_i akan mengurangi waktu tunda (td) dan waktu naik (tr) akan tetapi menimbulkan *overshoot*, oleh karena itu guna parameter K_d seharusnya meredam *overshoot*, karena K_p , K_i dan K_d belum tepat hasil perhitungan *error* yang menjadi besar nilainya. Faktor kedua yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor ketiga sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa.

- Metode PID *Trial and Error* Interval 0,1s : Pada pengujian ini, nilai parameter PID pada interval 0,1s yang digunakan adalah $K_p = 0,225168$ diturunkan 75% dari sebelumnya, $K_i = 0,05088$ diturunkan 85% dari sebelumnya dan $K_d = 0,096398$ diturunkan 80% dari sebelumnya. Memiliki waktu tunda (td) 0,5s lebih lambat 0,1s dengan sebelumnya, waktu naik (tr) 6,4s lebih lambat 0,2s dan waktu tunak (ts) 6,8s lebih cepat 15,7s dengan sebelumnya. Akan tetapi dikarenakan K_p dan K_i yang diturunkan waktu tunda (td) dan waktu (naik) menjadi lebih lambat dan menjadi semakin jauh dengan target, seharusnya ditargetkan pada interval 0,1s waktu naik (tr) yaitu 5,7s dan waktu tunda (td) yaitu 0,4s. Perbedaan signifikan terdapat pada waktu tunak (ts) dikarenakan *overshoot* yang berhasil diredam dari sebelumnya dengan penurunan nilai K_p , K_i dan K_d . Dikarenakan hasil masih tidak sesuai dengan target yang seharusnya. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu, Faktor pertama yaitu sama seperti sebelumnya lambatnya interval respon kontrol. Faktor kedua sama seperti sebelumnya penyesuaian dengan karakteristik motor induksi tiga fasa. Dikarenakan beberapa faktor tersebut jika tidak disesuaikan maka untuk mencari nilai K_p , K_i dan K_d dengan tepat dan mendapat respon kontrol yang baik akan sulit.

Terdapat perbedaan pada metode PID pada interval 0,25s dan 0,1s yaitu *tuning Trial and error* pada parameter D, pada interval 0,25s dinaikkan hingga 230% sedangkan pada interval 0,1s diturunkan 80% sangat jauh perbedaannya. Begitupun untuk semua metode dan kedua interval ada beberapa faktor utama yang menentukan hasil mencapai target yang diinginkan yaitu:

1. Karakteristik motor induksi tiga fasa itu sendiri yang dimana ada hubungannya antara kecepatan dan torsi. Ketika motor induksi tiga fasa belum mendapat arus nominal maka torsiya rawan jatuh yang mengakibatkan kecepatannya menjadi berisilasi, maka dari itu dibutuhkan kecepatan respon kontrol yang lebih cepat.
2. Lambatnya respon kontrol terhadap aktuator yang dimana jika respon setiap 0,25s ataupun 0,1s maka akan selalu ada *miss* pembacaan sensor dengan nilai aktual atau kecepatan aktuator yang seharusnya mengakibatkan respon kontrolnya pun tidak tepat.
3. Jika kedua faktor diatas sudah terpenuhi maka dibutuhkan pencarian nilai Kp, Ki dan Kd dengan tepat menyesuaikan dengan karakteristik aktuator dan juga karakteristik dari parameter P, I dan D.

Adapun perbandingan karakteristik kontrol metode P, PI dan PID ini dapat disimpulkan:

- Metode P : Hanya menggunakan parameter Kp, maka yang terjadi sistem dapat mendekatkan ke *setpoint* yang diinginkan, mempercepat *rise time* (t_r) dan *time delay* (t_d) jika nilai Kp tinggi akan tetapi sistem semakin tidak stabil atau berisilasi dan tidak dapat menghilangkan *steady state error*.
- Metode PI : Menggunakan parameter Kp dan Ki, maka yang terjadi sistem mempercepat *rise time* (t_r) dan *time delay* (t_d) tetapi dapat menimbulkan *overshoot* jika tidak di *tuning* dengan baik, dapat mengurangi *steady state error* dikarenakan peran Ki dalam pengakumulasian *error*, jika kedua parameter terlalu besar sistem akan berisilasi dan *overshoot* yang dialami akan cukup lama.

- Metode PID : Menggunakan parameter Kp, Ki dan Kd, mempercepat *rise time* (tr), *time delay* (td) dan *settling time* (ts). Dapat meredam *overshoot* dengan baik, dapat menjaga kestabilan sistem dengan sangat baik. Jika parameter Kd terlalu besar akan terjadi fluktuasi sistem, memperlambat *rise time* (tr), *time delay* (td) dan *settling time* (ts) dikarenakan karakteristik dari parameter D yang sensitif terhadap perubahan *error* secara tiba-tiba dikarenakan cara kerja parameter D itu sendiri yaitu selisih antar *error* saat ini dengan yang sebelumnya.

4.3.7 Pengujian *Monitoring Ni* LabVIEW

Sebelum melakukan pengiriman data ke Ni LabVIEW, perlu disesuaikan antara pengiriman data dari *coding* pada arduino IDE dengan *coding* blok diagram pada Ni LabVIEW. Berikut di bawah ini merupakan runtutan pengecekan kesesuaian program arduino IDE dan program blok diagram Ni LabVIEW agar data dapat terkirim dengan baik.

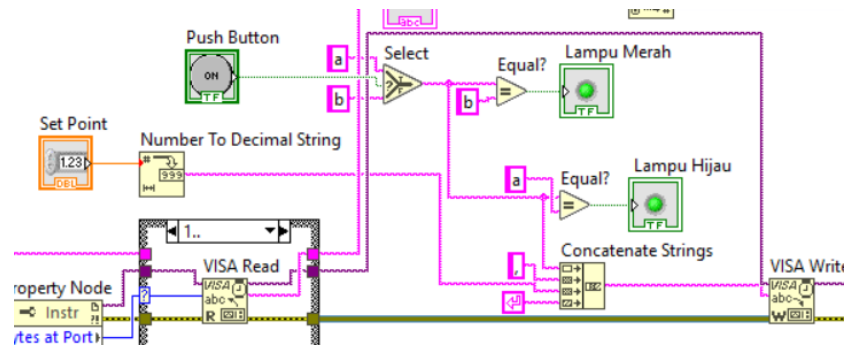
1. Buka Arduino IDE dan lembar block diagram Ni LabVIEW kemudian sesuaikan data *input* akan dikirim ke LabVIEW melalui *serial* komunikasi kabel.

```
// ===== Input dari LabVIEW =====
if (Serial.available() > 0) {
  char command = Serial.read();
  if (command == 'a') {
    systemActive = true;
    updateRelayAndDisplay();
  } else if (command == 'b') {
    systemActive = false;
    updateRelayAndDisplay();
  } else if (isdigit(command)) {
    String input = String(command);
    while (Serial.available() > 0) {
      char nextChar = Serial.read();
      if (isdigit(nextChar)) {
        input += nextChar;
      } else {
        break;
      }
    }
  }
}
```

(a)

```
int sp = input.toInt();
setpoint = sp;
if (sp == 0) {
  pwmOutput = 0;
  if (systemActive) {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("SP: ");
    lcd.print(setpoint);
    lcd.print(" ");
  }
}
```

(b)

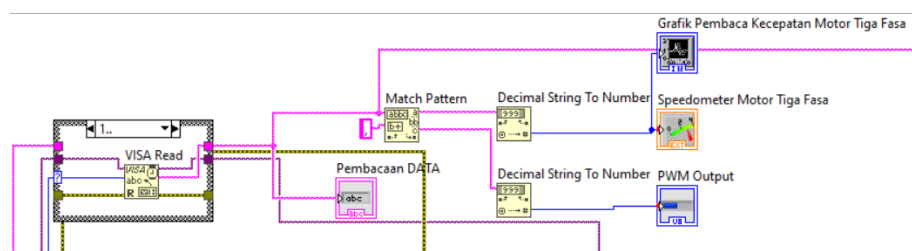


(c)

Gambar 4. 13 (a) Program Arduino IDE Untuk *Pushbutton* LabVIEW (b) Program Arduino IDE Untuk *Setpoint* LabVIEW (c) Program Blok Diagram LabVIEW Untuk *Pushbutton* dan *Setpoint*

Gambar 4.13 (a) dan (b) menunjukkan apabila menerima *character* “a” maka sistem aktif, apabila menerima *character* “b” maka sistem tidak aktif kemudian sesuaikan pada Ni LabVIEW, pada Gambar (c) tepatnya pada *pushbutton* apabila mengirim *character* “a” maka sistem aktif dan lampu hijau menyala sebagai indikator aktif, apabila *pushbutton* ditekan kembali akan mengirim *character* “b” maka sistem tidak aktif dan lampu merah menyala sebagai indikator tidak aktif. Begitupun hal serupa untuk pemberian *setpoint* pada LabVIEW.

2. Sesuaikan kembali untuk pengiriman data *output* dari arduino IDE yang akan ditampilkan oleh LabVIEW



(a)

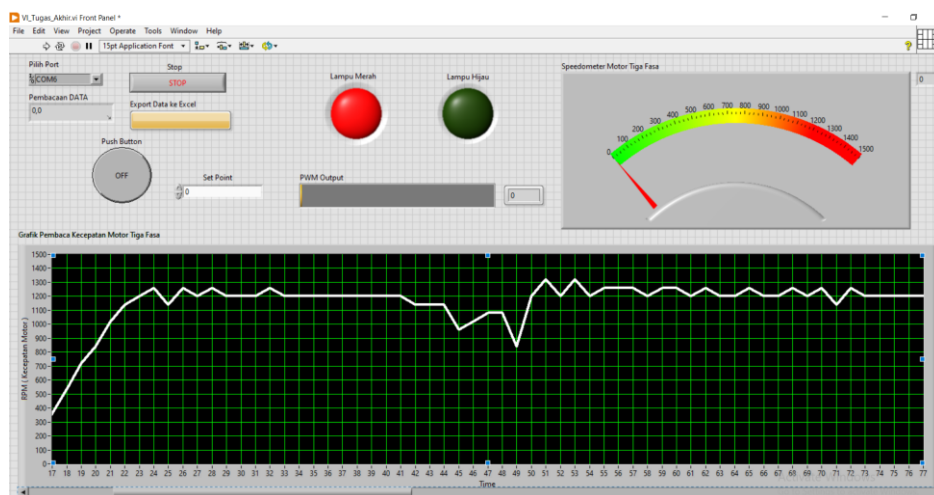
```
Serial.print(Rpm);
Serial.print(",");
Serial.println(pwmOutput);
```

(b)

Gambar 4. 14 (a) Program Blok Diagram LabVIEW Untuk Menampilkan Data (b) Program Serial Arduino IDE

Gambar 4.14 (a) dan (b) menunjukkan bahwa penyesuaian antara *coding* Arduino IDE dan *coding* blok diagram LabVIEW untuk penampilan datanya, yang dimana pengiriman data dari Arduino IDE dipisahkan oleh tanda “,” kemudian pada LabVIEW untuk menghilangkan tanda tersebut agar tidak terbaca menggunakan fungsi *match pattern*, dikarenakan tipe data yang dikirim oleh Arduino IDE adalah *decimal string* sedangkan grafik pada LabVIEW hanya bisa menampilkan tipe data *numeric* maka data tersebut masih perlu dikonversi menggunakan fungsi *decimal string to number*, setelah itu maka data dari Arduino IDE dapat di tampilkan dalam bentuk grafik maupun bentuk yang lain.

3. Langkah selanjutnya adalah memastikan *port* sudah sesuai dengan yang terhubung dengan arduino IDE dan sistem sudah siap digunakan maka tampilan jelasnya seperti berikut.



Gambar 4. 15 Tampilan *Front Panel* LabVIEW

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa *monitoring* sudah berfungsi dengan baik, pastikan waktu pengiriman datanya sesuai dengan yang dikirimkan oleh arduino IDE, jika arduino IDE mengirimkan data setiap 1 detik maka pastikan pada tampilan grafik juga menampilkan data setiap 1 detik hal ini untuk memastikan tidak ada kesalahan dalam analisis data melalui *monitoring* menggunakan LabVIEW. Data yang telah dikumpulkan ini dapat digunakan

untuk analisis kecepatan motor induksi tiga fasa dengan perbandingan metode P, PI dan PID.

4. Pengujian terakhir yaitu penyimpanan data yang dapat di *export* ke *software* excel. Bentuk data yang sudah di *export* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pengiriman Data *Real Time* Ke *Excel*

Time	RPM (Kecepatan Motor)	Time	RPM (Kecepatan Motor)
9	0	42	1140
10	0	43	1140
11	0	44	1140
12	0	45	960
13	0	46	1020
14	0	47	1080
15	0	48	1080
16	240	49	840
17	360	50	1200
18	540	51	1320
19	720	52	1200
20	840	53	1320
21	1020	54	1200
22	1140	55	1260
23	1200	56	1260
24	1260	57	1260
25	1140	58	1200
26	1260	59	1260
27	1200	60	1260
28	1260	61	1200
29	1200	62	1260
30	1200	63	1200
31	1200	64	1200
32	1260	65	1260
33	1200	66	1200
34	1200	67	1200
35	1200	68	1260
36	1200		
37	1200		
38	1200		
39	1200		
40	1200		
41	1200		