

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor listrik induksi 3 fasa banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri karena keunggulannya dibanding motor listrik jenis lain. Namun, motor listrik induksi 3 fasa memiliki kelemahan dalam hal kendali kecepatannya yang hanya dapat mengontrol kecepatan secara *step-step* [1]. Hal ini kurang praktis apabila motornya diaplikasikan pada sistem yang membutuhkan variasi kecepatan secara berkelanjutan seperti pada *konveyor*, pompa, dan lainya [2].

Kendali untuk motor induksi 3 fasa diharapkan mampu mengontrol kecepatannya secara halus dalam pengoprasianya. Untuk mengatasi hal tersebut, sistem kendali kecepatan berbasis PID merupakan salah satu metode kendali kecepatan yang paling umum digunakan karena dapat sangat memungkinkan dalam memberi hasil yang lebih stabil [3]. Metode pengendalian kecepatan motor induksi dapat dilakukan dengan menggunakan pemrograman integrasi internal pada ATV12 yang merupakan *drive* V/F untuk motor listrik 3 fasa yang mampu melakukan kendali PID secara internal [4]. Selain itu, metode pemrograman PID juga dapat dilakukan menggunakan memori khusus yang terdapat pada PLC [5].

Penelitian ini akan mengkaji implementasi kendali kecepatan motor induksi 3 fasa menggunakan kontrol PID yang diintegrasikan pada ATV312. Tujuannya adalah untuk memperoleh *respon* kecepatan motor yang lebih halus dan terkendali sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kualitas kontrol sistem yang menggunakan motor induksi 3 fasa seperti pada aplikasi konveyor atau pompa dan lainya.

Berdasarkan dari tinjauan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pengendalian kecepatan motor induksi secara otomatis dapat dilakukan dengan menggunakan komponen yang bernama *inverter* atau VFD (*Variable Frequency Drive*). Beberapa penelitian sebelumnya hanya membahas sistem pengendalian dengan menggunakan sinyal *feedback* yang berasal dari sensor eksternal. Pada penulisan penelitian ini membahas tentang metode pengendalian

kecepatan motor listrik induksi secara otomatis tanpa menggunakan sensor eksternal [4]. Data *feedback* yang di proses pada penelitian ini diperoleh melalui data estimasi yang terdapat pada internal *inverter* VFD, sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah hanya dengan menggunakan estimasi internal dapat memperoleh keluaran yang presisi.

Pembuatan alat ini memiliki beberapa komponen penunjang efisiensi dari alat ini, Seperti *inverter* VFD (*Variable Frequency Drive*), PLC (*Programable Logic Controller*) dan SCADA HMI (*Human Machine Interface*) sebagai perangkat kontrol dan *monitoring* pada modul pembelajaran ini.

1.2 Rumusan Masalah

Motor listrik induksi 3 fasa banyak digunakan untuk berbagai aplikasi industri namun memiliki kelemahan dalam hal kendali kecepatannya yang hanya dapat mengontrol secara diskrit atau *step-step*. ATV312 merupakan *drive* V/F untuk motor listrik 3 fasa yang mampu melakukan kendali PID secara internal namun respon nya belum dioptimalkan. Oleh karena itu permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah "Bagaimana mengoptimalkan parameter PID yang terintegrasi pada ATV312 untuk meningkatkan kualitas respon kecepatan motor listrik induksi 3 fasa?". Secara rinci rumusan masalahnya adalah:

1. Bagaimana mengatur parameter (K_p , K_i , K_d) pada kontrol PID ATV312?
2. Apakah pengaturan parameter PID berhasil meningkatkan kualitas respon kecepatan motor seperti menurunkan waktu *respon* dan osilasi?
3. Bagaimana pengaruh parameter PID terhadap karakteristik respon kecepatan motor?
4. Apakah data estimasi internal VFD dapat memberikan hasil keluaran yang presisi?

1.3 Batasan Masalah

Penulisan penelitian tugas akhir ini penulis memberikan batasan agar tidak menyimpang dari tujuan guna mendapatkan hasil yang optimal. Batasan tersebut antara lain :

1. Objek yang dikaji hanya motor listrik induksi 3 fasa dan *inverter* ATV12 produksi *Schneider Electric*.
2. Hanya menguji *respon* kecepatan motor pada beban konstan. Tidak menguji variasi beban.
3. Parameter yang dioptimalkan hanya parameter PID (K_p , K_i , K_d). Parameter motor dan *inverter* diatur sesuai standar.
4. Penentuan *gain* kendali PID dilakukan dengan metode *trial and error*.
5. Karakteristik *respon* yang dievaluasi terbatas pada waktu *respons*, *overshoot*, dan osilasi.
6. Pengujian dilakukan pada kondisi listrik dan lingkungan ruang tertutup laboratorium. Tidak menguji aplikasinya pada sistem nyata.

1.4 Tujuan Dan Manfaat

Dalam penulisan proposal tugas akhir ini, terdapat beberapa tujuan dan manfaat. Beberapa tujuan dan manfaat tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penulisan penelitian yang berjudul "Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis PID (*Proportional, Integral, Derivative*)" antara lain adalah:

1. Mengoptimalkan parameter PID (K_p , K_i , K_d) yang terintegrasi pada internal drive VFD ATV312.
2. Meningkatkan kualitas *respon* kecepatan motor listrik induksi 3 fasa yang dikendalikan oleh ATV312.
3. Mengevaluasi pengaruh parameter PID terhadap karakteristik *respon* kecepatan motor.

1.4.2 Manfaat

Penulisan penelitian yang berjudul "Pengendali Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis PID (*Proportional, Integral, Derivative*)" diharapkan dapat memberikan manfaat kepada pihak – pihak yang terkait dan pihak yang membaca jurnal ini dengan manfaat diantaranya:

1. Mendemonstrasikan secara langsung bagaimana PID dapat mengontrol kecepatan motor induksi agar stabil mendekati set point.
2. Memvalidasi secara eksperimen karakteristik sistem motor listrik dan responnya terhadap variasi parameter PID.
3. Mendukung pembelajaran tentang hubungan antara frekuensi, arus, tegangan, daya, torsi, dan kecepatan pada motor.
4. Memfasilitasi pemahaman terkait integrasi antara sistem kontrol, sensor, aktuator, dan *user interface*.
5. Dapat dimanfaatkan sebagai referensi desain modul praktikum pengendali motor induksi yang lebih mutakhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dikerjakan berdasarkan beberapa mata kuliah yang pernah di ikuti selama perkuliahan, yaitu sistem kendali, mesin – mesin AC, rancangan listrik kendali industri dan praktik automasi industri.

2.1. Landasan Teori

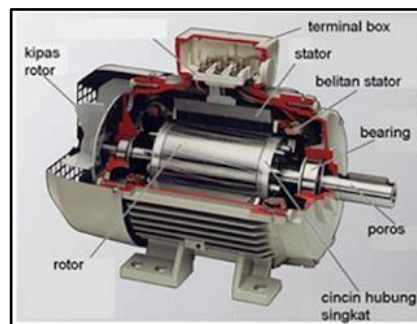
Landasan teori dalam perencanaan alat ini memiliki beberapa landasan dari jurnal-jurnal terkait yang dapat diuraikan sebagai berikut :

2.1.1 Motor Listrik Induksi 3 Fasa

Motor Listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa tenaga putar. Motor induksi adalah motor listrik arus bolak balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran motor rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Jika dilihat dari prinsip kerjanya, motor induksi 3 fasa dan satu fasa mempunyai prinsip kerja serupa, dimana adanya induksi yaitu medan *magnet* putar pada belitan utama (*stator*) yang memotong pada batang-batang *rotor* sehingga menimbulkan induksi pada motor [6]. Wujud dan Konstruksi dari motor listrik induksi dapat dilihat dari Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Motor Listrik 3 fasa
(Sumber : [6])



Gambar 2. 2 Konstruksi Motor Induksi
(Sumber : [7])

Kecepatan motor Listrik dapat dipengaruhi oleh besarnya frekuensi yang memasok motor tersebut dengan persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 1 berikut [8].

$$N_s = \frac{120 \times f}{p} \dots \text{Persamaan 1}$$

Dimana :

N_s = kecepatan putaran medan magnet (RPM)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah *pole* kumparan

120 = konstanta persamaan

Berdasarkan Persamaan 1 di atas dapat dikatakan jika semakin besar nilai frekuensi maka akan semakin besar juga kecepatan putaran medan magnet motor. Putaran medan magnet *stator* ini akan diikuti oleh putaran rotor motor induksi. Makin berat beban motor, maka kecepatan rotor juga akan turun sehingga terjadi *slip* (s), seperti yang diperlihatkan pada Persamaan 2.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots \text{Persamaan 2}$$

dimana :

s = *slip* (%)

N_s = kecepatan putaran medan magnet (rpm)

N_r = kecepatan putaran poros rotor (rpm)

Sedangkan untuk menentukan kecepatan rotor dapat menggunakan Persamaan 3 berikut [7].

$$N_r = N_s \times (1 - \text{slip}) \dots \text{Persamaan 3}$$

2.1.2 VFD (*Variable Frequency Drive*)

Variable Frequency Drive (VFD), juga dikenal sebagai *inverter* atau *AC Drive*, adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan dan torsi motor listrik dengan mengontrol frekuensi dan tegangan listrik yang diberikan ke motor. VFD juga menyediakan kemampuan pengaturan kecepatan yang variabel. VFD juga dikenal sebagai *Variable Speed Drive* (VSD), *AC Drive*, *Microdrive* atau *inverter Drive* [9]. Didalam *inverter /vsd* terdiri dari saklar semi konduktor atau transistor, serta sinyal kendali untuk mengatur nyala dan mati dari saklar semikonduktor tersebut. Metode dalam merubah sinyal analog menjadi lama nyala dan mati disebut dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) [5].

VFD altivar 12 schneider memiliki integrasi PID *controler* internal yang dapat diimplementasikan dengan melalui komunikasi *modbuss* protokol. Sehingga hanya perlu memasukan *modbuss address* parameter PID untuk mengaktifkan PID *controler* pada altivar 12.



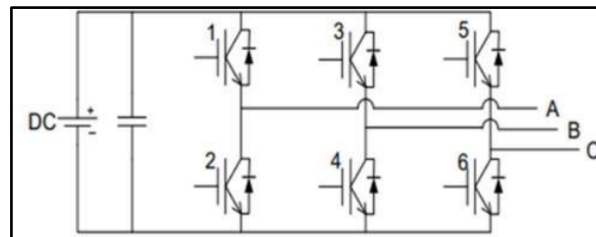
Gambar 2. 3 VFD ATV12 Schneider

(Sumber : [11])

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu perioda, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda [10]. Wujud dari *inverter* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 di atas merupakan wujud dari VFD. *Variabel Frequency Drive* (VFD) merupakan *drive* yang digunakan untuk mengontrol kecepatan motor listrik AC secara proporsional. VFD bekerja dengan mengubah frekuensi dan tegangan pasokan motor sesuai dengan sinyal kontrol kecepatan yang diterimanya [6].

Secara umum, VFD / *inverter* 3 fasa bekerja berdasarkan prinsip *switched mode*. Saklar-saklar pada Gambar 2.4 bekerja sedemikian rupa, yang membuat bentuk tegangan keluaran (A, B, dan C) membentuk tegangan 3 fasa. Kedudukan saklar yang berpasangan (1 dan 2, 3 dan 3, 5 dan 6) diatur hingga setiap pasang tidak akan pernah bersama-sama dalam kondisi menyala (*ON*) ataupun mati (*OFF*). Yang berarti jika saklar 1 dalam keadaan *ON*, maka saklar 2 dalam kondisi *OFF* ataupun sebaliknya. Demikian pula untuk pasangan 3-4 dan 5-6. Pengaturan pensaklaran ini dilakukan oleh sinyal PWM [12].



Gambar 2. 4 Rangkaian *Inverter* 3 Fasa Dengan IGBT

(Sumber : [13])

Sinyal kontrol biasanya berasal dari sistem kontrol seperti PLC atau HMI yang menyimpan informasi *setpoint* kecepatan yang diinginkan. VFD akan menganalisis sinyal kontrol ini untuk menentukan frekuensi AC apa yang dapat mencapai kecepatan tersebut. Hal ini didasarkan pada hubungan antara kecepatan dan frekuensi pada motor AC, di mana kecepatannya akan sebanding lurus dengan besar frekuensi yang diterapkan [6].

VFD secara berkelanjutan memantau sinyal kontrol masukan dan kecepatan motor yang dihasilkan [13]. Jika terdapat selisih, VFD akan menyesuaikan frekuensi dan tegangan secara dinamis agar kecepatan motor sesuai dengan *setpoint* yang diinginkan untuk memastikan kontrol kecepatan yang akurat dan responsif [5].

Gambar 2.5 pada halaman 8 merupakan contoh dari parameter-parameter yang digunakan dalam *Setting* untuk pengaturan kecepatan motor. Gambar berikut menampilkan contoh parameter *inverter* yang nantinya akan diatur menjadi nilai frekuensi, pemilihan logika masukan untuk mencapai akselerasi antara 0 Hz hingga mencapai frekuensi motor yang ditentukan [11].

Configuration Mode - Complete menu (FULL)			
Code	Name/Description	Adjustment range	Factory setting
Motor control menu			
bFr	<input type="checkbox"/> Standard motor frequency See page 46.		50 Hz
nPr	<input type="checkbox"/> Rated motor power See page 47.	NCV -5 to NCV +2	According to crive rating
CoS	<input type="checkbox"/> Rated motor cos phi Visible only if Motor parameter choice nPr page 61 is set to CoS . If Rated motor cos phi CoS is available Rated motor power nPr disappears. Motor nameplate power factor (pf). Note: Do not confuse this with motor "Service Factor". Setting CoS to or very near to 1 may result in unsatisfactory motor operation. If the motor power factor is not indicated on the nameplate, leave this parameter at the factory default (approximately 0.80)	0.5 to 1	According to crive rating
uN5	<input type="checkbox"/> Rated motor voltage Rated motor voltage given on the nameplate. If the line voltage is less than the rated motor voltage, Rated motor voltage uN5 should be set to the value of the line voltage applied to the drive terminals.	100 to 480 V	230 V
nCr	<input type="checkbox"/> Rated motor current Rated motor current given on the nameplate. Rated motor current nCr modifies Motor thermal current tM page 95.	0.25 In to 1.5 In (1)	According to crive rating
Fr5	<input type="checkbox"/> Rated motor frequency Rated motor frequency given on the nameplate. The factory setting is 50 Hz, or preset to 60 Hz if Standard motor frequency bFr page 46 is set to 60 Hz.	10 to 400 Hz	50 Hz
nSP	<input type="checkbox"/> Rated motor speed Rated motor speed given on the nameplate.	0 to 24000 rpm	According to crive rating
tFr	<input type="checkbox"/> Maximum frequency Maximum frequency tFr gives the upper value possible for High speed nSP page 91. The factory setting is 60 Hz, or preset to 72 Hz if Standard motor frequency bFr page 46 is set to 60 Hz.	10 to 400 Hz	60 Hz
CtK PERF Std PuNP	<input type="checkbox"/> Motor control type Allows selection of the motor control type suitable for the application and the required performances. <input type="checkbox"/> Performance: SVCU; Sensorless vector control with internal speed loop based on voltage feedback calculation. For applications needing high performance during starting or operation. <input type="checkbox"/> Standard: Standard Motor Law. For simple applications that do not require high performance. Simple motor control law keeping a constant Voltage-Frequency ratio, with a possible adjustment of the curve bottom. This law is generally used for motors connected in parallel. Some specific applications with motors in parallel and high performance levels may require PERF . <input type="checkbox"/> Pump: U/F; dedicated to variable torque pump and fan applications that do not require high starting torque.		Std

(1) In = nominal drive current

Gambar 2. 5 Motor Control Menu Manual Book VFD

(Sumber : [11])

2.1.3 PLC (Programmable Logic Controller)

Definisi *Programmable Logic Controller* menurut Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara *digital* dan didesain untuk pemakaian dilingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat di program untuk menyimpan secara internal instruksi yang mengimplementasikan fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatika untuk mengontrol mesin atau proses melalui modul *digital* maupun *analog* [14].

PLC selain dapat di program, dapat juga dikendalikan dan dioperasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan khusus dalam ilmu komputer [14]. Bentuk fisik dari PLC omron CP1E dapat dilihat pada Gambar 2.6 di halaman 10.



Gambar 2. 6 *Programmable Logic Controller*

(Sumber : [16])

2.1.4 HMI (*Human Machine Interface*)

HMI adalah singkatan dari *Human Machine Interface*. Secara umum, HMI merupakan perangkat lunak atau sistem yang berfungsi sebagai antarmuka / *interface* antara manusia dan mesin atau sistem otomatis. HMI dirancang untuk memudahkan komunikasi dan interaksi antara operator dengan perangkat atau sistem otomatis [17].

HMI bekerja dengan menghubungkan perangkat lunak *interface* ke sistem kontrol seperti PLC ataupun *SCADA* melalui komunikasi serial atau jaringan. *Interface* ini berisi tampilan grafis interaktif yang dirancang khusus. Data dari sistem kontrol akan ditampilkan di HMI, sementara perintah dari operator akan diteruskan kembali ke sistem kontrol. Dengan demikian terjadi interaksi dua arah antara manusia dan mesin [18].

Fungsi utama HMI antara lain : (1) Menampilkan informasi dari sistem seperti nilai sensor, status, notifikasi, dan lainnya; (2) Memberikan layar kontrol untuk mengoperasikan sistem melalui tombol, sakelar dan menu; (3) Mencatat log data dan kejadian penting untuk tujuan pelacakan; (4) Memungkinkan *monitoring* dan *troubleshooting* dari jarak jauh melalui jaringan. Dengan demikian HMI memudahkan proses pengawasan dan pengoperasian sistem secara *real-time* [18]. Gambar 2.7 pada halaman 11 di bawah ini merupakan wujud dari HMI.



Gambar 2. 7 HMI (*Human Machine Interface*)

(Sumber : [19])

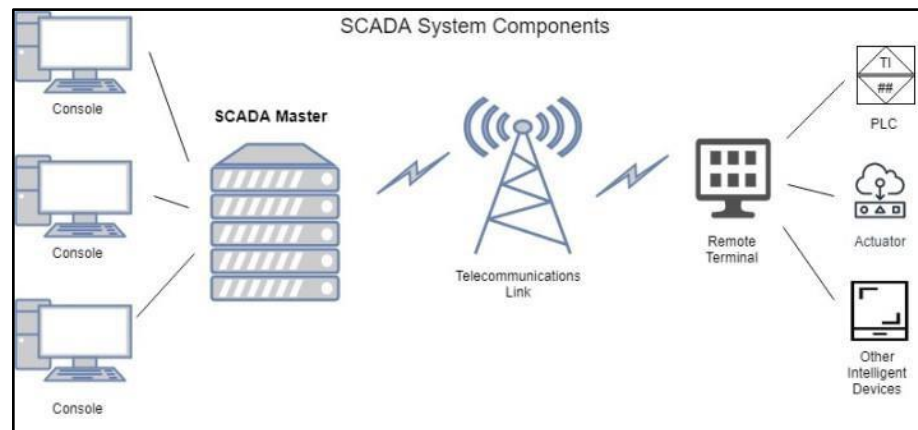
2.1.5 SCADA (*Supervisory, Control And Data Acquisition*)

Penjelasan Secara umum, *SCADA* merupakan sistem pengawasan dan pengumpulan data yang digunakan untuk mengontrol proses automasi secara *remote*. *SCADA* memungkinkan pengawasan dan pengendalian sinkron dari lokasi sentral terhadap proses yang tersebar di berbagai lokasi [20].

SCADA bekerja dengan menghubungkan stasiun PLC/RTU di lapangan ke server *SCADA* pusat melalui jaringan komunikasi seperti *modbus*. PLC akan mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke server *SCADA* [21]. Operator dapat mengontrol peralatan melalui antarmuka server *SCADA*. Server akan mengirimkan perintah kembali ke PLC di lapangan untuk dieksekusi [22]. Dengan demikian proses di lapangan dapat dioperasikan dan diawasi secara *remote* [20]. Fungsi *SCADA* secara singkat adalah:

1. Mengumpulkan data dari berbagai sensor di lapangan melalui jaringan komunikasi.
2. Memungkinkan operator mengontrol peralatan di lapangan dari pusat komando.
3. Mencatat log data *histori*, *alarm*, dan statistik kinerja proses.
4. Membantu pendeteksian gangguan dini dan pengambilan tindakan cepat.

Gambar 2.8 di halaman selanjutnya menjelaskan secara singkat sistem dari pengendalian sebuah sistem dari jarak jauh menggunakan *SCADA*.



Gambar 2. 8 Sistem SCADA

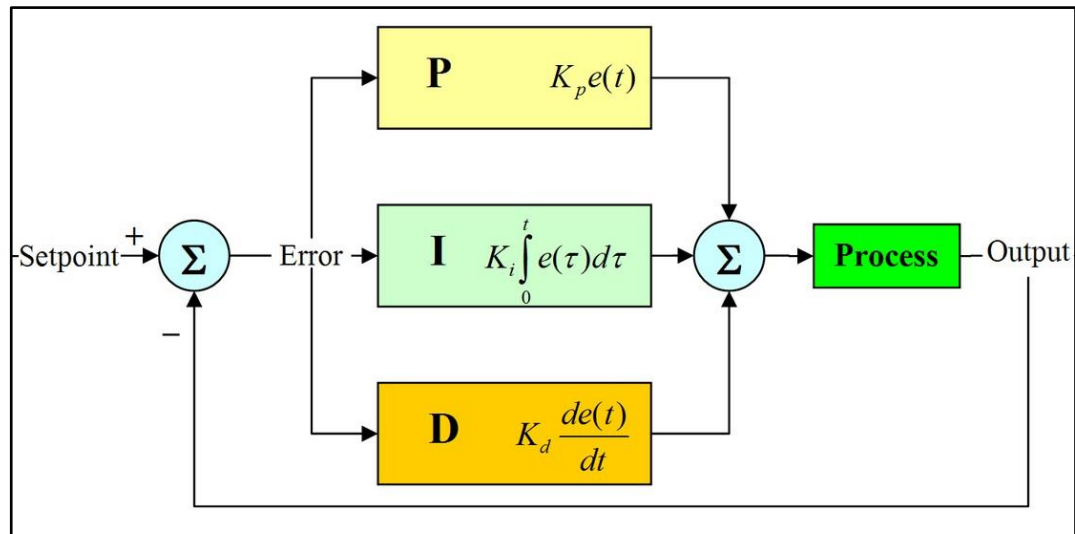
(Sumber : [22])

2.1.6 PID (*Proportional, Integral, Derivative*)

PID (*Proportional-Integral-Derivative*) controller adalah algoritma kontrol *feedback* yang banyak digunakan dalam sistem kontrol industri. PID bekerja dengan memproses *error* antara *setpoint* (kondisi yang diinginkan) dengan *feedback* aktual dari proses [25]. Secara garis besar, PID terdiri dari tiga respon aksi yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* [3].

Respon Proportional akan memberikan aksi yang sebanding langsung dengan besarnya *error* saat ini. *Respon Integral* menjumlahkan seluruh *error* yang pernah terjadi sehingga dapat menghilangkan *steady state error*. Sedangkan *respon Derivative* memprediksi perubahan *error* di masa depan berdasarkan laju perubahan *error* saat ini, sehingga dapat mempercepat respon sistem [9].

Tiga respon ini kemudian ditotal menjadi satu *output* kontrol. Dengan demikian, PID mampu menyesuaikan *output* kontrol secara proaktif dan cermat berdasarkan fluktuasi *error*, sehingga proses dapat dikendalikan lebih stabil, cepat, dan akurat untuk selalu berada pada *setpoint* [26]. Fungsi utamanya adalah meminimalkan *steady state error* dan mengatur respon kecepatan proses. Gambar 2.10 pada halaman 12 menjelaskan secara singkat tentang sistem PID [3].



Gambar 2. 9 Sistem PID (*Propotional, Integral, derivative*)

(Sumber : [9])

2.1.6.1 *Propotional*

Parameter ini mempengaruhi respon kontrol berdasarkan besarnya error saat ini (perbedaan antara setpoint dan nilai yang diukur). Semakin besar nilai P, semakin besar respon yang dihasilkan terhadap error. Namun, jika terlalu besar, dapat menyebabkan kerusakan sistem.

2.1.6.2 *Integral*

Parameter ini mempertimbangkan akumulasi kesalahan dari waktu ke waktu. Tujuannya adalah untuk mengurangi error stable-state, yaitu error yang terus-menerus ada meskipun sistem sudah mencapai kondisi stabil. Nilai I yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem menjadi tidak stabil dan menimbulkan overshoot.

2.1.6.3 *Derivative*

Parameter ini mempertimbangkan laju perubahan error. Ini memberikan aksi kontrol yang lebih cepat dengan memperhitungkan tren perubahan error. Fungsi D membantu untuk mengurangi overshoot dan meningkatkan stabilitas sistem, tetapi jika nilainya terlalu besar, bisa menyebabkan sistem terlalu sensitif terhadap noise.

Dalam implementasi PID kali ini menggunakan perangkat berupa *inverter* ATV12 schneider. ATV12 memiliki integrasi internal PID kontroler yang dapat dioperasikan menggunakan komunikasi *modbuss protocol*.

2.2. Penelitian Terkait

Penyusunan proposal tugas akhir ini dilakukan dengan memperhatikan beberapa penelitian terdahulu yang membahas tema tentang kendali kecepatan Motor Induksi 3 *Phase* berbasis PID dengan kendali jarak jauh SCADA dan HMI. Beberapa penelitian yang terkait dengan penulisan ini dapat dilihat dari Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya Yang Terkait

NO	PENULIS	JUDUL	METODE	HASIL
1	Indra, Abraham Akbar, Taufik Hidayat, Sila Wardono, Murie Dwiyaniti	Performansi Pengendalian Kecepatan Motor Induksi Pada Modul Pembelajaran Berbasis PLC- PID	Motor Induksi, PLC, PID <i>Controler</i>	Semakin besar nilai parameter K_p maka akan semakin cepat <i>respons</i> dari sistem, tetapi jika dibesarkan akan membuat sistem tidak stabil. Semakin besar nilai parameter T_i maka akan semakin lambat <i>respons</i> dari sistem, tetapi jika dibesarkan akan mengurangi overshoot dan sistem lebih stabil. Semakin tinggi setpoint yang diberikan maka akan semakin stabil sistem yang diuji, tetapi semakin rendah setpoint yang diberikan maka sistem akan semakin beresilasi.

2	Angga Sulthoni1, Muhammad Faqihuddin, Ni Cening Nicky Prasada Gayatri, Kusnadi, Anicetus Damar Aji	Kinerja Modul Latih Sistem Kendali Kecepatan Motor Induksi Berbasis PLC HMI SCADA	Motor Induksi, PLC, PID, HMI dan SCADA	<p>Penggunaan beban memberatkan sistem namun masih dapat dikendalikan dengan baik oleh PID. Output naik untuk menyesuaikan. Sistem lebih stabil pada kecepatan tinggi daripada rendah karena <i>responsifitas</i> yang berbeda.</p> <p>Komunikasi antar komponen berjalan lancar menggunakan protokol Modbus sehingga proses terintegrasi dengan baik.</p>
3	Faishal Rachman , Reni Rahmadewi	Modul Latih <i>Inverter</i> Sebagai Kendali Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Hmi Berbasis PLC	<i>Inverter</i> SCADA, HMI, PLC	<p>Program PLC dibuat menggunakan perangkat lunak TIA <i>Portal</i> V15 dengan menggunakan bahasa pemograman <i>ladder</i> diagram.</p> <p>Pengaturan kecepatan motor dilakukan secara otomatis melalui HMI yang terkoneksi dan terintegrasi dengan PLC. Berbagai pengujian kecepatan motor dilakukan mulai dari 400 rpm hingga 1400 rpm.</p>

				<p>Hasil uji coba menunjukkan bahwa kecepatan motor dapat diatur sesuai dengan <i>input</i> yang diberikan dan terlihat hubungan yang sesuai antara frekuensi pada VSD dengan kecepatan motor yang dihasilkan.</p>
4	<p>Tegar Herdantyo, Daru Tri Nugroho, Yogi Ramadhani, Agung Mubyanto</p>	<p>Desain dan Simulasi Sistem HMI (<i>Human Machine Interface</i>) Berbasis <i>CITECT SCADA</i> Pada <i>Konveyor</i> Proses Di Industri</p>	<p><i>CITECT SCADA</i>, HMI, PLC Mitsubishi</p>	<p>Komunikasi antara Vijeo <i>Citect SCADA</i> dengan PLC Mitsubishi selanjutnya adalah Membuat <i>Variable tags</i>. <i>Variable tags</i> digunakan untuk mengakses alamat tertentu pada PLC menggunakan <i>Citect Project Editor</i>. Pembuatan Halaman HMI sendiri dapat dilakukan pada bagian <i>Contents Of Graphics</i> kemudian <i>Contents of Pages dan Create New Page</i>.</p>
5	<p>Ikhsan Rifaldo, Muldi Yuhendri</p>	<p>Sistem <i>Monitoring</i> Kecepatan Motor Induksi</p>	<p>PLC, <i>Inverter</i>, dan <i>IoT</i>.</p>	<p>Alat <i>system monitoring</i> kecepatan motor dengan HMI yang ditampilkan dilayar HMI sudah</p>

		Dengan HMI Berbasis PLC		mendekati sama dengan data kecepatan motor hasil pengukuran. Menunjukkan bahwa <i>Hardware</i> dan <i>software</i> yang dirancang untuk <i>monitor</i> kecepatan motor induksi dengan HMI telah bekerja dengan baik, sehingga dapat mengukur kecepatan motor secara akurat.
6	Abdel Karim Bouras, Slimane Bouras, Samir Kerfal	<i>Prediction Of The Mass Unbalance Of A Variable Speed Induction Motor By Stator Current Multiple Approaches</i>	PID kontroler, MATLAB	Analisis spektrum arus fasa, vektor <i>Park</i> , dan transformasi <i>Fourier</i> jangka pendek mampu menunjukkan puncak karakteristik ketidakseimbangan massa . Metode ini bermanfaat untuk deteksi dini kerusakan dan dapat membantu pemeliharaan perbaikan motor secara mandiri.
7	Alfred A. Idoko, Iliya. T. Thuku, S.	<i>Design of Tuning Mechanism of PID Controller</i>	PID <i>controler</i> , <i>software</i> MATLAB	Metode tuning menggunakan MATLAB dapat menghasilkan hasil yang konsisten dan akurat

	Y. Musa, Chinda Amos	<i>for Application in three Phase Induction Motor Speed Control</i>	, Motor Induksi	<p>untuk sistem automasi yang menggunakan motor induksi.</p> <p>Parameter PID dapat dioptimalkan menggunakan mekanisme tuning <i>software</i> untuk memberikan <i>respon</i> yang stabil dan cepat.</p> <p>Simulasi menunjukkan kinerja kontrol kecepatan motor induksi menjadi lebih baik dengan penggunaan kontroler PID yang dituning secara otomatis menggunakan mekanisme <i>software</i>.</p>
8	Angga Wahyu Aditya, Restu Mukti Utomo, Nur Rani Alham, Hilmansyah	The Industrial IoT <i>Control</i> Design of Three Phase Induction Motor using Conventional <i>V/F Method</i>	IoT <i>Control</i> , Motor Induksi 3 Fasa, metode V/f	<p>Implementasi IoT memungkinkan kontrol motor dapat dilakukan dari mana saja dan kapan saja melalui antarmuka HMI dan aplikasi <i>smartphone</i>.</p> <p><i>Respon</i> kecepatan putar rotor tergantung pada frekuensi pasokan.</p> <p>Frekuensi rendah menghasilkan kesalahan <i>absolut</i> yang tinggi.</p>

9	Adnan Salihbegovic, Vlatko Marinković, Zoran Cico, Elvedin Karavdić, Nina Delic	<i>Web based multilayered distributed SCADA/HMI system in refinery application</i>	HMI, SCADA, IoT	Sistem terbukti mampu meningkatkan kinerja kontrol kecepatan motor dengan penyesuaian parameter PID secara otomatis. Implementasi IoT memungkinkan akses kontrol dari lokasi dan waktu yang tidak terbatas melalui antarmuka web.
10	Abdul Hadi	Perbandingan <i>Tuning</i> Parameter kontroler PID Menggunakan Metode <i>Trial and Error</i> dengan analisa <i>gain</i> pada motor servo AC	PID, <i>Tuning</i> Parameter <i>Trial and Error</i>	Kontroler PD membutuhkan parameter yang sesuai sehingga menghasilkan <i>respon</i> sistem yang diinginkan. Pencarian parameter kontroler PD menggunakan metode <i>trial and error</i> membutuhkan waktu yang lama, sehingga lebih baik menggunakan metode analisa <i>gain because</i> men desain parameter sesuai spesifikasi desain yang diinginkan. Hasil penelitian diperoleh bahwa menggunakan metode analisa gain nilai

				<p>RMSE lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode <i>trial and error</i>. Namun, <i>settling time</i> menggunakan metode <i>trial and error</i> lebih cepat waktunya dibandingkan dengan metode analisa <i>gain</i>.</p>
--	--	--	--	---

Beberapa jurnal di atas membahas tentang pengendalian kecepatan motor induksi dengan berbasis PID dan menggunakan sistem SCADA untuk pengoprasiannya dengan menganalisa hasil dari kecepatan motor yang dikendalikan dengan salah satu sistem pemrograman PID. Objek yang dikaji dalam penelitian diatas hanya respon kecepatan dari satu buah motor Listrik dengan 1 metode pemrograman PID yang diproses menggunakan PLC ataupun juga menggunakan algoritma yang terintegrasi pada *inverter* .

Tuning parameter PID dapat dilakukan dengan metode *trial and eror* dengan menggunakan *software* MATLAB 2013a. Hasil dari penelitian diatas memberikan kesimpulan bahwa metode tersebut dapat digunakan dan memberi hasil yang konsisten dan sesuai dengan *plan* yang diinginkan.

Penelitian yang akan penulis lakukan kali ini akan membahas tentang hasil dari pengendalian 2 motor induksi dengan membandingkan hasil pengendalian kecepatan Motor induksi menggunakan *feedback* internal ATV12. Metode pengoprasian PID ini dilakukan tanpa menggunakan sensor eksternal sebagai *feedback* PID.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Alat Dan Bahan

Dalam metodologi ini ada beberapa peralatan dan bahan yang digunakan pada tugas akhir dengan judul “Pengendali Kecepatan Motor Listrik Induksi 3 Fasa Berbasis PID (*Proportional, Integral, Derivative*)”. Dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini, merupakan peralatan dan bahan yang digunakan diantaranya.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Yang Dibutuhkan

NO	ITEM	VOLUME	SATUAN	JUSTIFIKASI PENGGUNAAN
A	ALAT			
1	Obeng +	1	Buah	Menggerakkan Baut
2	Obeng -	1	Buah	Menggerakkan Baut
3	<i>Test Pen</i>	1	Buah	Memastikan Kabel Fasa
4	Tang Potong	1	Buah	Memotong Kabel
5	Tang Kombinasi	1	Buah	Memotong dan Menjepit Kabel
6	Tang Lancip	1	Buah	Menjepit Benda Pada Posisi Tertentu
7	Tang <i>Crimping</i>	1	Buah	Memasang Sekun
8	Multimeter	1	Buah	Mengukur Besaran Listrik
9	Laptop	1	Buah	Membuat Program
B	BAHAN			
1	Motor induksi 3 Fasa	2	Buah	Komponen Utama Penelitian
2	<i>Inverter</i> ATV 12 Schneider	2	Buah	Pengendali Kecepatan Motor
3	Haiwel HMI C7H	1	Buah	<i>Monitoring Real time</i>
4	<i>Router</i>	1	Buah	Pemancar jaringan
5	Kontaktor	2	Buah	Saklar elektromekanik
6	<i>Thermal Overload Relay</i>	2	Buah	<i>Relay</i> pengaman <i>Overload</i> Motor
7	MCB 1 Phase 4A	1	Buah	Pengaman beban berlebih
8	Terminal	3	Buah	Penghubung Penghamtar
9	Rel Besi	1	Buah	Dudukan Komponen panel
10	Panel Box	1	Buah	Tempat Penempatan Komponen
11	Sekun	2	Pack	Penghubung kabel dengan baut pin komponen

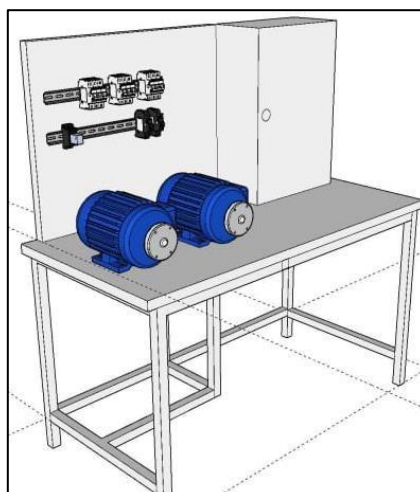
12	Baut Panel	25	Buah	Mengikat panel ke dinding dan mengikat komponen dengan panel
13	PB NO	4	Buah	Saklar tekan <i>On</i>
14	PB NC	4	Buah	Saklar tekan <i>OFF</i>
15	Pilot Lamp Hijau	4	Buah	Indikator oprasi motor <i>forward / reverse</i>
16	Pilot Lamp Merah	2	Buah	Indikator oprasi motor <i>Off</i>
17	Kabel NYAF	2	Rol	Penghantar Listrik
18	Kabel RJ45	1	Buah	Kabel komunikasi <i>modbuss</i>
19	Kabel RS232	1	Buah	Kabel komunikasi <i>modbuss</i>
20	Kabel Duct	4	Meter	Peletakan Kabel
21	Kabel RS485	1	Buah	Kabel komunikasi <i>modbuss</i>
22	Kabel spiral	4	Meter	Pengikat kabel
23	Kabel <i>Ties</i>	1	Pack	Pengikat kabel
24	Isolasi Hitam	1	Rol	<i>Isolator</i> sambungan kabel

3.2 Desain Dan Perancangan Alat

Tahapan pertama dalam merancang alat ini adalah membuat desain. Berikut adalah desain dan perancangan alat tugas akhir.

3.2.1 Desain Peletakan Alat

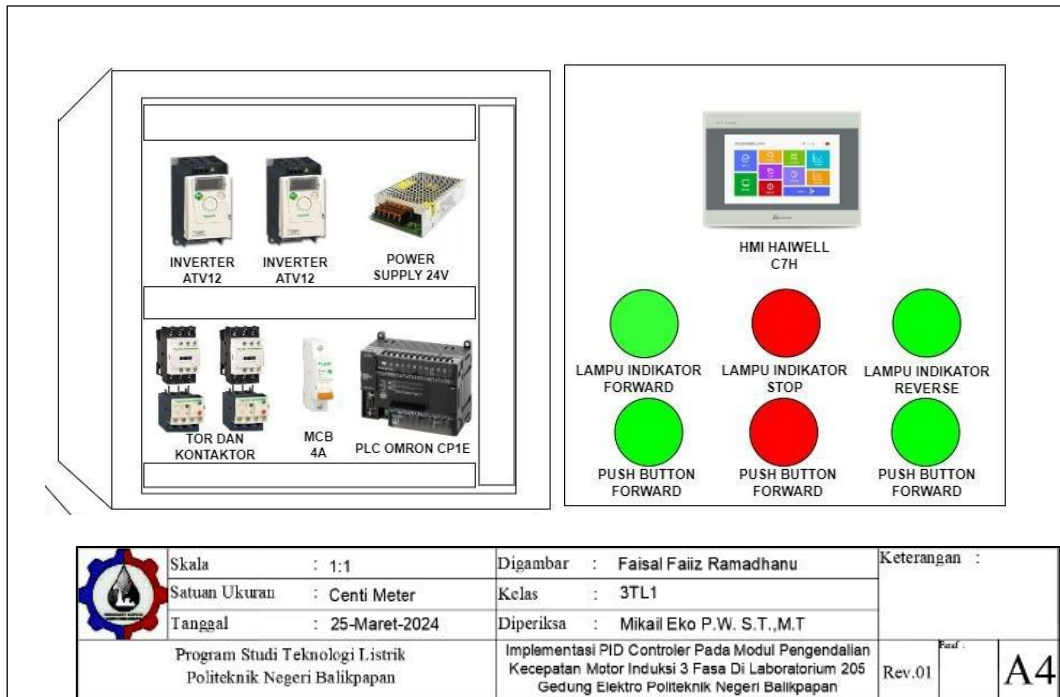
Pada tahapan ini yang perlu dilakukan ialah pembuatan meja sebagai tempat peletakan modul praktikum. Gambar 3.1 menunjukkan desain peletakan peralatan.



Gambar 3. 1 Desain Peletakan alat

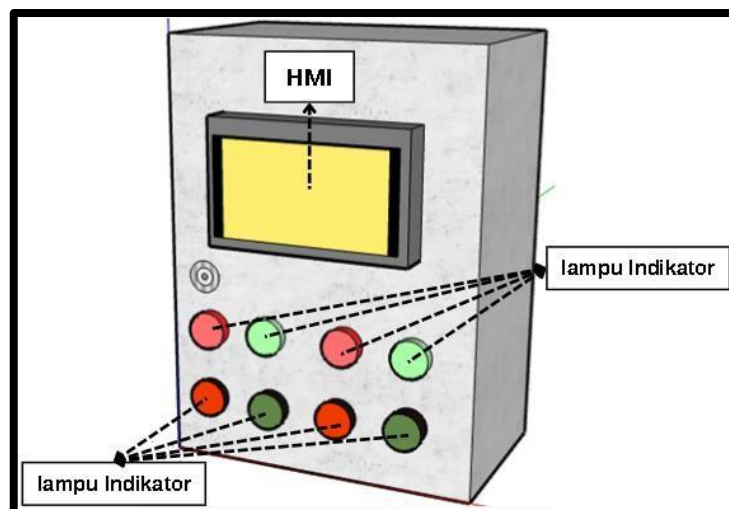
3.2.2 Desain Panel Box

Setelah pembuatan dudukan untuk motor induksi 3 *phase* dengan sensor *rotary encoder* maka tahapan selanjutnya adalah pembuatan desain Panel pengendali, pengontrol dan *monitoring* kecepatan motor induksi 3 *phase* Berbasis *IoT*. Pendsaianan dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.



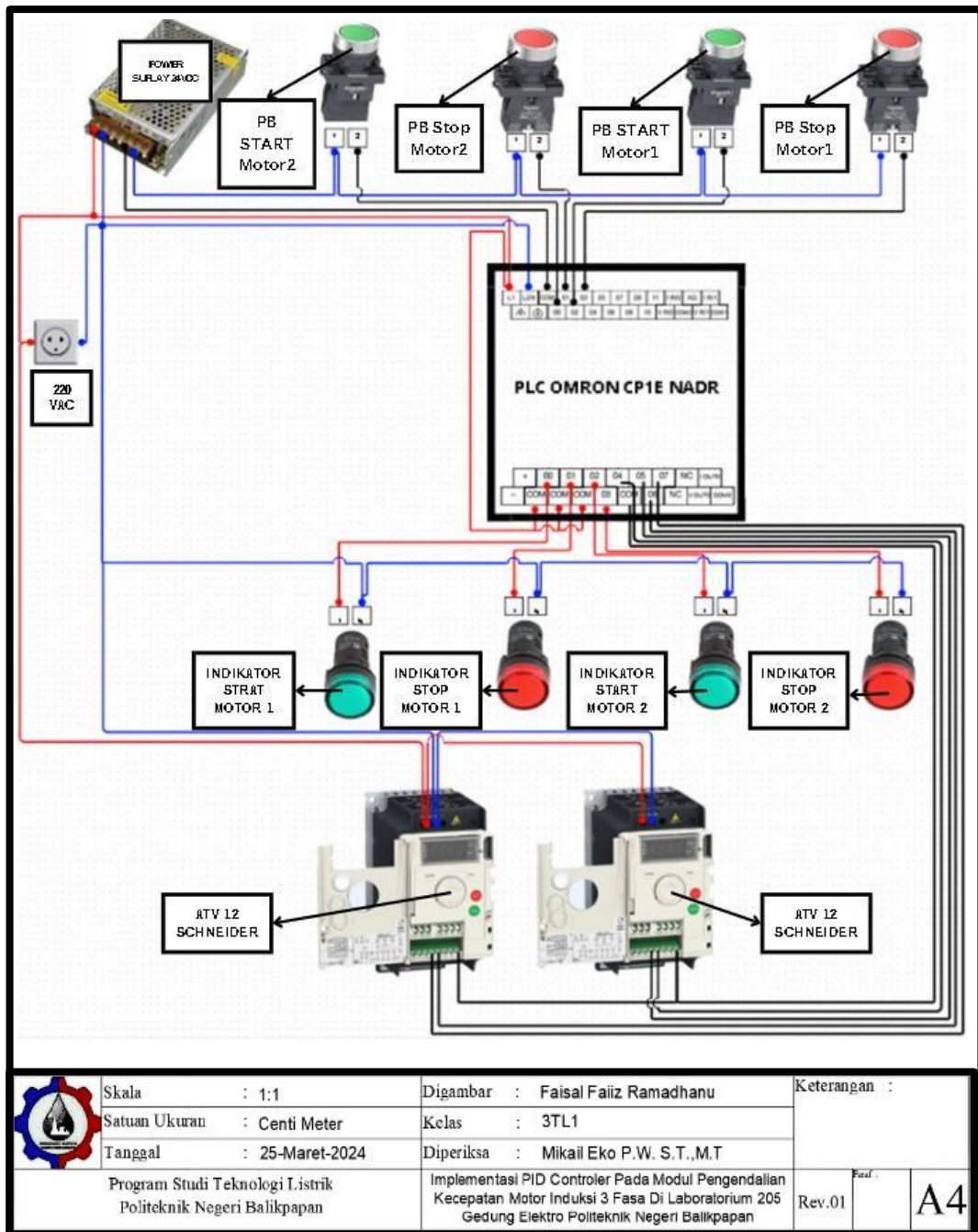
Gambar 3. 2 Desain Penempatan Komponen Dalam Panel

3.2.3 Desain 3D Panel Box



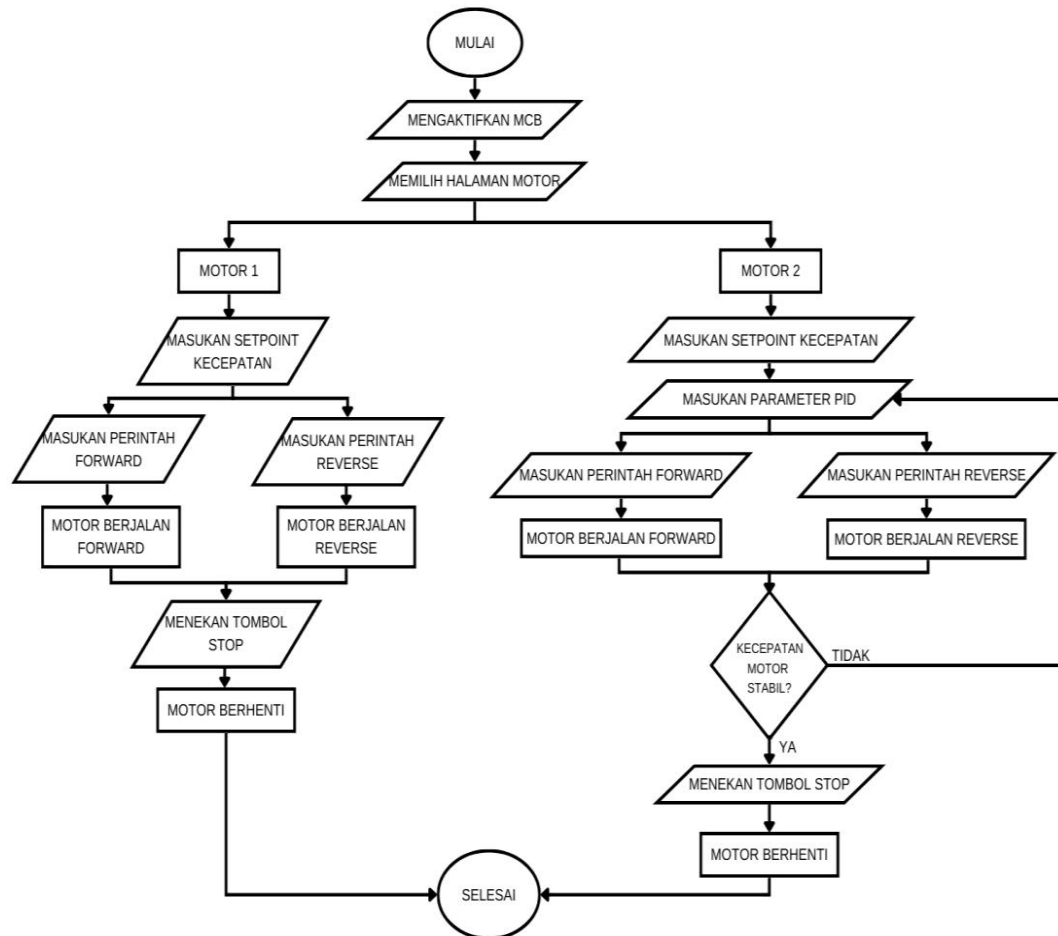
Gambar 3. 3 Desain 3D Panel Box Alat Pengendali Motor

3.2.4 Perencanaan Wiring Diagram



Gambar 3. 4 Wiring Keseluruhan Alat

3.2.5 Perancangan Sistem Operasi Alat



Gambar 3. 5 *Flowchart* Sistem Kerja Alat

Pada Gambar 3.5 dapat dijelaskan secara singkat bahwa alat ini bekerja dimulai dengan mengaktifkan MCB untuk menyalakan alat, kemudian ketika alat telah menyala pada layar *interface* tentukan halaman motor mana yang ingin dioperasikan. Pada motor 1 tidak dilengkapi dengan PID maka hanya perlu memasukkan *setpoint* kecepatan dan memberi perintah *forward* / *reverse* maka motor akan beroperasi hingga tombol *stop* ditekan, sedangkan pada motor 2 sebelum memberi perintah *start* harus memasukkan parameter PID terlebih dahulu, ketika parameter PID telah dimasukan dan motor diberi perintah *start* maka motor akan beroperasi namun kecepatan motor masih tidak stabil, maka harus dilakukan penentuan ulang parameter PID.

Tabel 3. 2 Tabel Spesifikasi Alat

KECEPATAN MAKSIMAL	1500 rpm
DAYA MAKSIMAL	2.5 kW
TEGANGAN	200/220 VAC
FREQUENCY	0.1 - 50 Hz

Spesifikasi dari alat ini dapat ditentukan dari karakteristik motor listrik yang digunakan dan juga spesifikasi dari *inverter* ATV12 yang digunakan, sehingga spesifikasi dari alat ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

3.2.6 Tuning Parameter Metode *Trial & Error* Menggunakan MATLAB 2013a

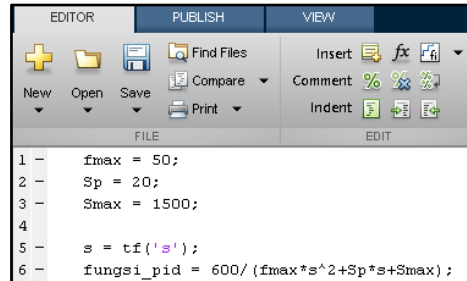
Metode *Tuning* yang digunakan untuk menentukan parameter PID pada penelitian ini menggunakan metode *trial and error*. Metode *trial and error* yaitu metode *tuning* parameter dengan menggunakan uji coba pemberian *gain* dan melihat *respon* plant. Sehingga proses penentuan *gain* dilakukan dengan cara uji coba hingga mencapai *respon* plant (*output*) yang diinginkan [27]. Sebelum mengoperasikan metode *trial and error* pada perangkat kendali yang sebenarnya, untuk meminimalisir resiko kegagalan perancangan alat maka dilakukan simulasi *tuning* parameter menggunakan *software* MATLAB 2013a.

Uji coba dilakukan dengan memasukkan besaran besaran yang akan di kendalikan oleh alat pada *Menu editor* di *software* MATLAB. Besaran tersebut diantaranya adalah frekuensi maksimal, *setpoint*, dan kecepatan maksimal dengan nilai frekuensi maksimal sebesar 50hz, *setpoint* = 20 Hz dan kecepatan Maksimal adalah 1500rpm. Kemudian setelah memasukkan besaran – besarnya, dilanjutkan dengan memasukkan fungsi alih transisi seperti dilihat pada Gambar 3.6.

Setelah memasukkan fungsi pada *Menu editor* selanjutnya jalankan fungsi dengan menekan tombol *RUN*. Setelah itu jalankan aplikasi PID pada MATLAB dan tentukan besar parameter PID dengan menggeser *Menu respon time* dan *transient behavior*. Langkah ini dilakukan hingga mendapat bentuk grafik yang paling baik sesuai dengan *plan*.

Dari hasil *Tuning* ini dapat dilihat hasil parameter PID yang ditentukan dengan menekan teks *show paramter*. Dari *Menu* ini didapatkan hasil parameter

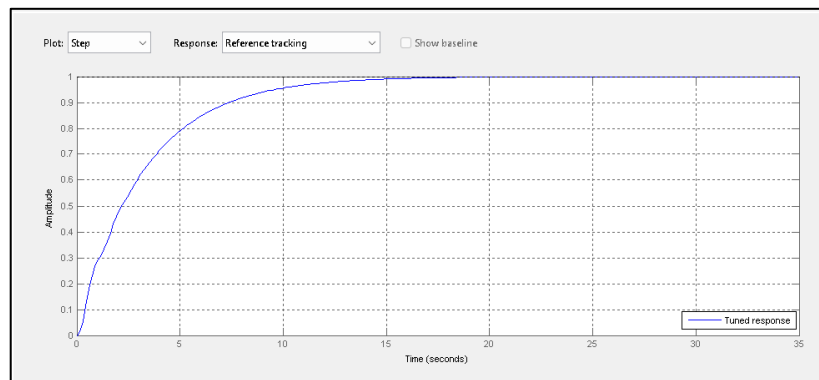
PID dengan nilai $K_P = 26$, $K_I = 14$ dan $K_D = 12$. Hasil berikut dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan 3.7 di bawah ini.



```

1 - fmax = 50;
2 - Sp = 20;
3 - Smax = 1500;
4
5 - s = tf('s');
6 - fungsi_pid = 600/(fmax*s^2+Sp*s+Smax);
  
```

Gambar 3. 6 Menu Editor MATLAB 2013a



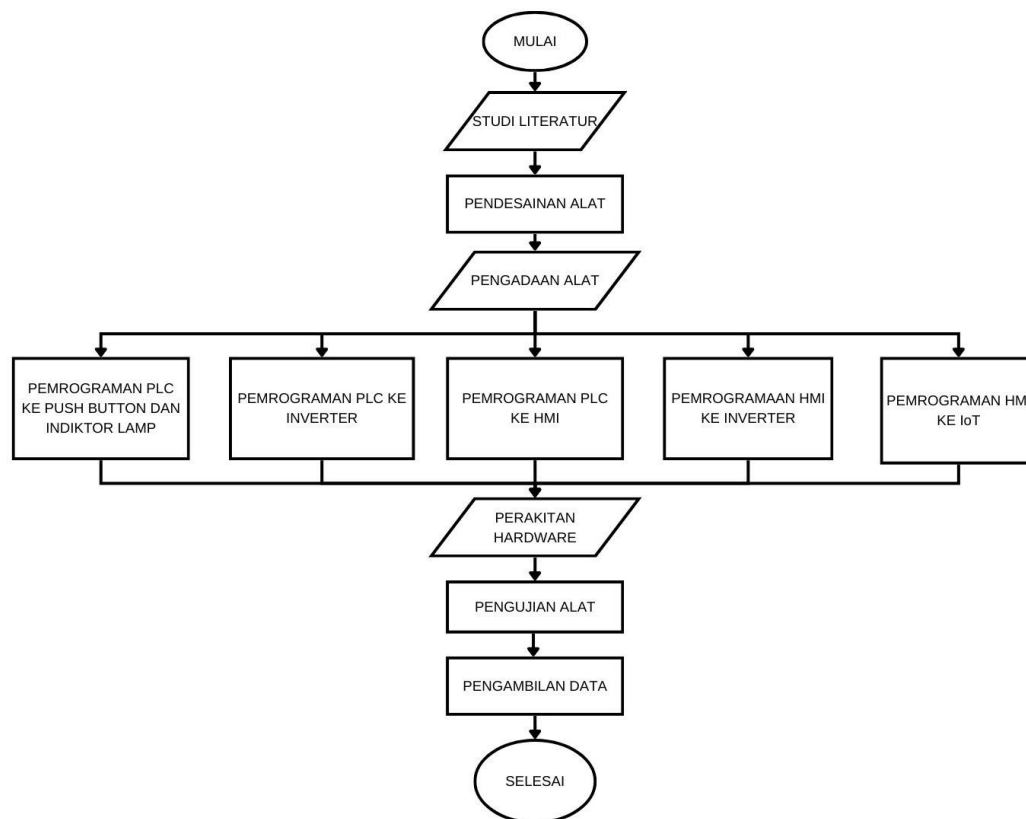
Gambar 3. 7 Grafik *Respon Tuning*

Controller parameters	
	Tuned
Kp	26.7937
Ki	14.6511
Kd	12.25
Tf	
Performance and robustness	
	Tuned
Rise time	5.66 seconds
Settling time	10.9 seconds
Overshoot	0 %
Peak	0.998
Gain margin	Inf dB @ NaN rad/s
Phase margin	84 deg @ 16.6 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Gambar 3. 8 Parameter *Setting* PID dan Hasil Performa

Dari hasil simulasi diatas didapatkan peforma yang sesuai dengan *plan* yang diinginkan dengan hasil *risetime* 5.66 sekon tidak ada *overshoot* dan *settling time* selama 10 sekon dengan parameter $K_P = 26$ $K_I = 14$ dan $K_D = 12$.

3.3 Flowchart Pembuatan Alat



Gambar 3. 9 *Flowchart* Perakitan Alat

3.4 Parameter Pengamatan

Berikut ini adalah parameter-parameter yang dapat diamati dalam penelitian perancangan modul praktikum pengendali kecepatan motor induksi 3 fasa berbasis PID:

1. Karakteristik *respons* sistem terhadap variasi nilai parameter PID (K_p , K_i , K_d). Parameter yang diamati antara lain waktu *respons*, *risetime*, *overshoot*, *settling time*, *steady state error*.
2. Hubungan antara frekuensi input VSD dengan kecepatan motor. Apakah berubah secara proporsional sesuai teori ?
4. Stabilitas sistem terhadap gangguan beban. Apakah sistem dapat kembali ke kondisi semula setelah diberi beban?
5. Fungsi user *interface* (HMI / SCADA) untuk memasukkan *set point* dan *monitoring*.

Peroses perancangan alat ini dilakukan dengan melakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan 2 *software* yang berbeda, diantaranya menggunakan *microsoft excel* dan menggunakan MATLAB 2013a. Pada simulasi *excel* didapatkan kekurangan tidak dapat menentukan parameter I dan D sehingga hanya dapat menentukan Kp. Hasil kedua simulasi tersebut dibandingkan dalam tabel 3.2 di bawah ini.

Dari Tabel 3.3 di bawah dapat dianalisa bahwa *respon* yang diberikan pada simulasi *excel* lebih cepat dengan waktu selama 3 detik, sedangkan MATLAB mencapai waktu selama 8,4 detik. Namun hasil yang diberikan MATLAB lebih stabil dibandingkan dengan simulasi *excel* dengan indikasi tidak adanya *overshoot* saat *respon* berjalan. Hal ini dikarenakan pada pengujian *excel* hanya menggunakan parameter P, tidak menggunakan parameter I dan D.

Tabel 3. 3 Perbandingan Hasil Simulasi PID

Metode Simulasi	Rise Time (S)	Overshoot (S)	Downtime (S)	Settling Time (S)
Micosoft Exel	3	2	3	4
MATLAB 2013a	6,9	0	0	12,5