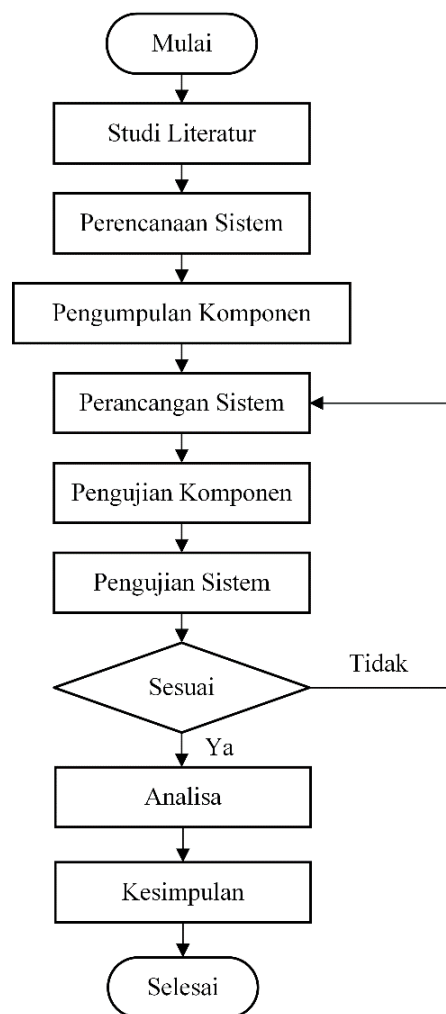


BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai upaya untuk membuat sistem yang baik dan sesuai dengan yang dituju. Tahapan tersebut dapat dilihat dalam *flowchart* pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

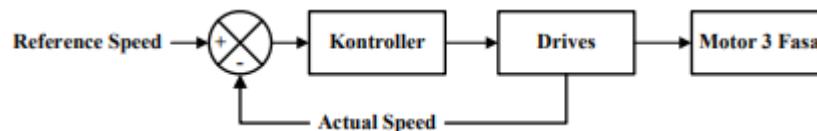
Dalam proses perancangan dan pembuatan sistem terdapat beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap pertama adalah memulai penelitian.
2. Tahap kedua adalah studi literatur, proses ini berupa studi dalam mencari referensi mempelajari teori yang berkaitan dengan kendali kecepatan motor induksi tiga fasa, PLC, VFD, dan PID. Referensi tersebut berupa artikel ilmiah, yaitu jurnal nasional maupun internasional dan buku elektronik.
3. Tahap ketiga adalah perencanaan sistem, yaitu membuat arsitektur sistem, metode uji dan daftar komponen yang dibutuhkan.
4. Tahap keempat adalah pengumpulan komponen, yaitu pengumpulan alat dan bahan yang diperlukan untuk pembuatan sistem dan pengujian sistem.
5. Tahap kelima adalah perancangan sistem, yaitu membuat *wiring diagram*, program, *layout* alat, dan *interface*.
6. Tahap keenam adalah pengujian unit atau komponen, yaitu pengujian masing-masing komponen, baik itu uji secara *hardware* maupun uji dengan *software* sebelum diintegrasikan menjadi keseluruhan sistem.
7. Tahap ketujuh adalah pengujian sistem, yaitu sistem diuji keseluruhan baik tanpa beban maupun dengan beban, menggunakan kendali PID atau tanpa kendali PID.
8. Tahap kedelapan adalah analisa data, yaitu analisa setiap hasil dari pengujian.
9. Tahap kesembilan adalah kesimpulan, yaitu membuat simpulan berdasarkan hasil analisa data uji.
10. Tahap kesepuluh adalah penelitian selesai.

3.2 Blok Diagram Sistem

Prosesnya dimulai dengan *input* nilai referensi kecepatan, dimana kontroler dengan kendali PID nya akan melakukan proses untuk menghasilkan *output* sebagai

input drives, yaitu nilai kecepatan yang harus dijalankan oleh *drives*, kemudian *drives* menyuplai besaran daya yang harus disalurkan ke motor 3 fasa seperti Gambar 3.2. *Feedback* diambil dari *drives* untuk dibandingkan dengan *setpoint* dan diproses lagi oleh kontroler dengan kendali PID yang tertanam didalamnya.

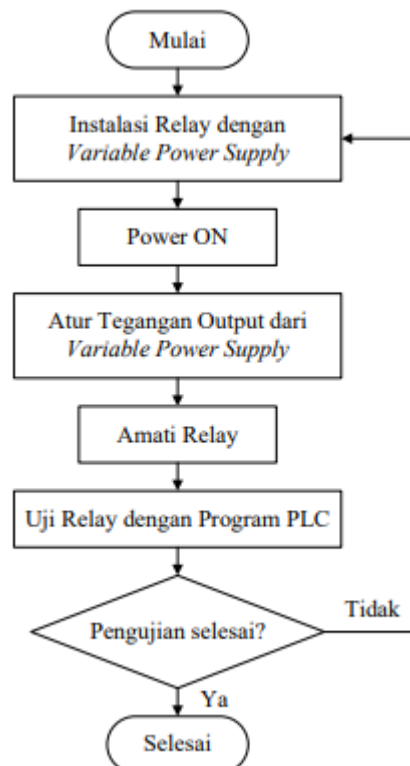


Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

3.3 Metode Pengujian

Proses ini merupakan alur untuk melakukan setiap uji, baik itu uji unit, uji sistem, dan uji kendali PID pada sistem. Pada uji unit, setiap komponen dilakukan uji *hardware* dan uji *software*.

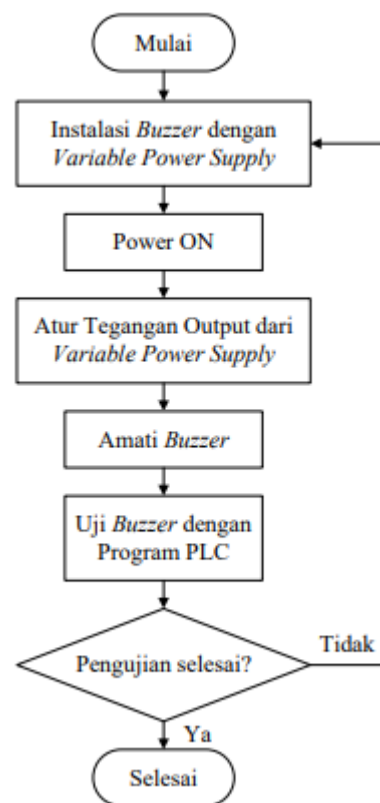
3.3.1 Pengujian Unit Relay



Gambar 3.3 Flowchart Uji Relay

Gambar 3.3 merupakan tahap pengujian unit relay yang dilakukan dengan mengatur tegangan *input* ke relay menggunakan *Variable Power Supply* sebagai uji *hardware*. Variasi tegangan *input* disesuaikan dengan kondisi relay saat belum aktif, aktif, sesuai rating tegangan, dan melampaui rating tegangan dari relay. Uji *software* dilakukan dengan mengaplikasikan relay yang digunakan sebagai unit I/O ke program PLC.

3.3.2 Pengujian Unit *Buzzer Lamp*

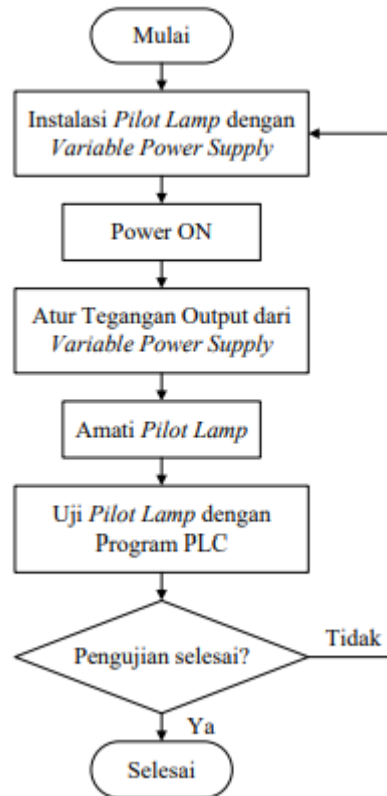


Gambar 3.4 Flowchart Uji *Buzzer Lamp*

Gambar 3.4 merupakan tahap pengujian unit *buzzer* yang dilakukan dengan mengatur tegangan *input* pada *buzzer* menggunakan *Variable Power Supply* sebagai uji *hardware*. Variasi tegangan *input* disesuaikan dengan kondisi *buzzer* saat belum aktif, aktif, sesuai rating tegangan, dan melampaui rating tegangan

buzzer tersebut, kemudian amati *buzzer* pada setiap uji nya. Uji *software* dilakukan dengan mengaplikasikan *buzzer* yang digunakan sebagai *output* ke program PLC.

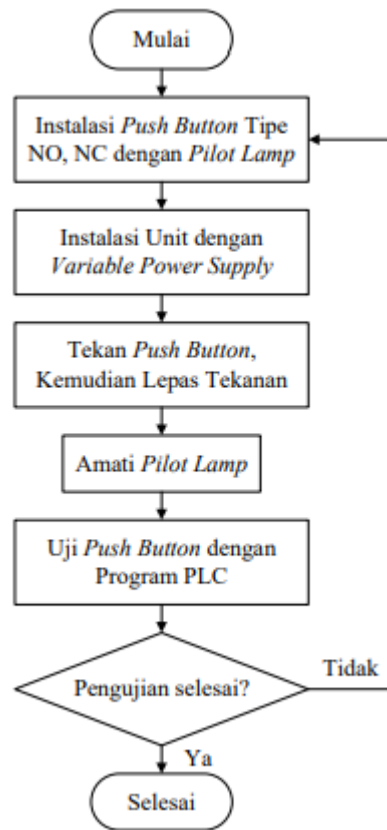
3.3.3 Pengujian Unit *Pilot Lamp*



Gambar 3.5 Flowchart Uji *Pilot Lamp*

Gambar 3.5 merupakan tahap pengujian unit *pilot lamp* yang dilakukan dengan mengatur tegangan *input* pada *pilot lamp* menggunakan *Variable Power Supply* sebagai uji *hardware*. Variasi tegangan *input* disesuaikan dengan kondisi *pilot lamp* saat belum menyala, menyala, sesuai rating tegangan, dan melampaui rating tegangan *pilot lamp*, kemudian amati *pilot lamp* pada setiap uji. Uji *software* dilakukan dengan mengaplikasikan *pilot lamp* sebagai unit *output* ke program PLC.

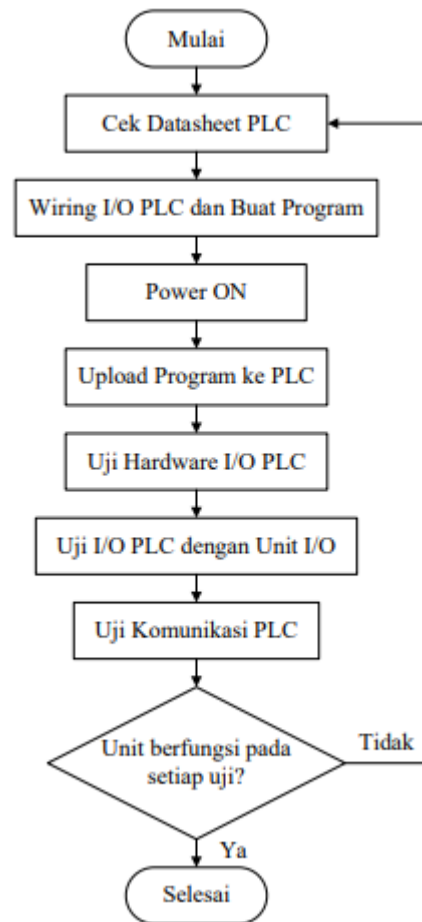
3.3.4 Pengujian Unit *Push Button*



Gambar 3.6 Flowchart Uji *Push Button*

Gambar 3.6 merupakan tahap pengujian unit *push button*, baik tipe NO maupun NC yang diinstalasi dengan *pilot lamp*. Pengujian dilakukan dengan mengatur tegangan *input* pada unit tersebut menggunakan *Variable Power Supply* sebagai uji *hardware*. Atur tegangan *input* sebesar 24 VDC, kemudian amati *pilot lamp* saat *push button* ditekan dan dilepas pada setiap uji. Uji *software* dilakukan dengan mengaplikasikan *push button* sebagai unit *input* ke program PLC.

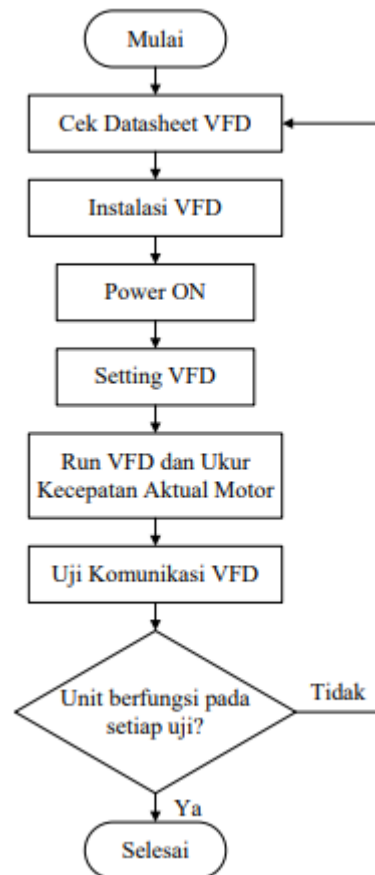
3.3.5 Pengujian Unit Programmable Logic Controllers (PLC)



Gambar 3.7 Flowchart Pengujian PLC

Gambar 3.7 merupakan pengujian unit PLC dimulai dengan mempelajari *datasheet* dari PLC untuk mengetahui penggunaan unit dan fitur dari unit tersebut. Selain itu, dipelajari juga penggunaan *software* untuk memprogram PLC. Setelah itu, *wiring* uji unit dan membuat program uji dilakukan. *Upload* program tersebut ke PLC, kemudian uji *hardware*, yaitu uji tegangan minimum untuk membuat I/O PLC bisa berfungsi. Uji *software* dilakukan dengan mengaplikasikan unit I/O ke program PLC.

3.3.6 Pengujian Unit Variable Frequency Drives (VFD)

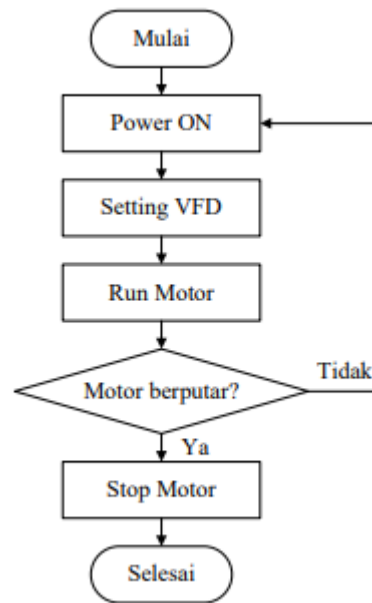


Gambar 3.8 Flowchart Pengujian VFD

Berdasarkan Gambar 3.8, ditunjukkan tahap pengujian unit VFD yang dimulai dengan mempelajari *datasheet*, kemudian instalasi VFD. Instalasi VFD meliputi, *digital input wiring* dan instalasi VFD ke motor. Setelah dilakukan instalasi, kemudian VFD diberi suplai tegangan untuk dilakukan *setting* manual parameter pada VFD. *Setting* VFD terdapat 2 mode, yaitu *local mode* dan *remote mode*. Adapun parameter yang diatur meliputi, parameter motor, point *run* motor dan juga frekuensi. Setelah itu, *run* VFD sehingga *power* disalurkan ke motor, kemudian ukur kecepatan putaran motor dengan *tachometer*. Ketersediaan port komunikasi pada VFD, menunjukkan bahwa VFD tersebut dapat diintegrasikan dengan perangkat lain yang memiliki port komunikasi juga. Uji komunikasi VFD,

akan melibatkan PLC untuk diketahui fungsionalitas dari port tersebut terhadap data yang dikirim dan diterima oleh PLC. Pengujian unit pada VFD berkaitan dengan pengujian pada motor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.

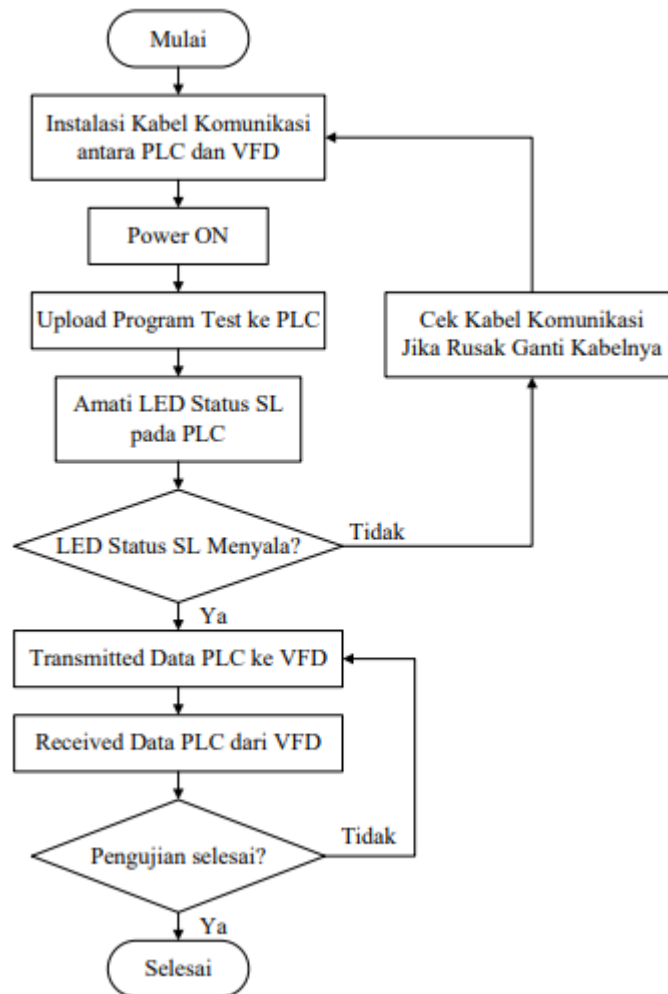
3.3.7 Pengujian Unit Motor Induksi 3 Fasa



Gambar 3.9 Flowchart Pengujian Motor Induksi 3 Fasa

Gambar 3.9, menunjukkan tahap pengujian unit motor yang berkaitan dengan uji unit VFD. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apa unit motor bisa berputar berdasarkan frekuensi yang diterapkan dan arah putarannya sesuai dengan *input* yang diberikan.

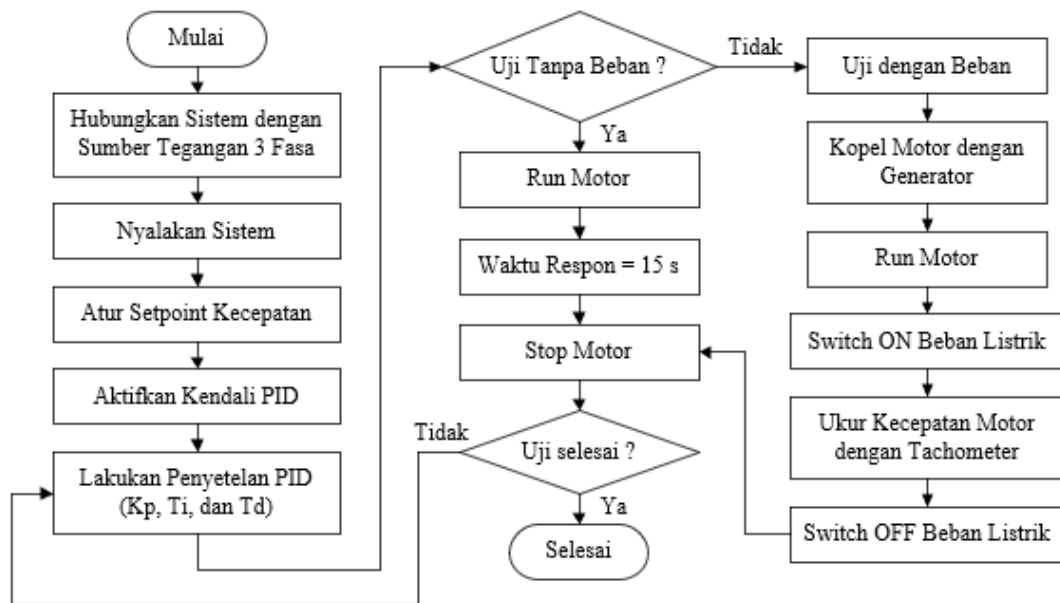
3.3.8 Pengujian Komunikasi Serial PLC dan VFD



Gambar 3.10 Flowchart Pengujian Komunikasi PLC dan VFD

Gambar 3.10 merupakan tahap pengujian komunikasi antara PLC dan VFD, dimana pengujian ini dimulai dengan memberi suplai tegangan pada PLC dan VFD. Setelah itu, hubungkan PLC dan VFD dengan kabel komunikasi yang sesuai. Kemudian, *upload* program ke PLC dan amati bagian LED status “SL” yang ada pada PLC. Jika menyala, proses uji dilanjutkan pada *transmitted and received* data antara PLC dan VFD. Pengujian dilakukan dengan kirim data frekuensi dari PLC, kemudian jalankan perintah *run* motor, kemudian dilihat apa data pembacaan frekuensi yang disalurkan ke motor masih 0 atau berubah sesuai perintah PLC.

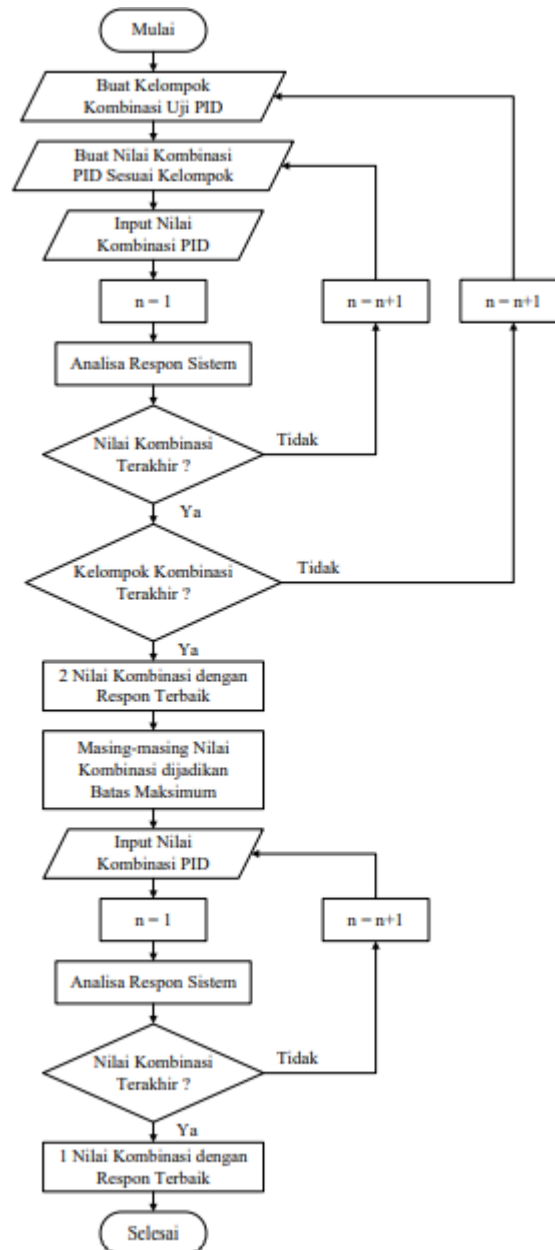
3.3.9 Pengujian Sistem



Gambar 3.11 Flowchart Pengujian Sistem

Gambar 3.11 merupakan pengujian sistem yang dimulai dengan menyalurkan *incoming power* ke sistem, kemudian menyalakan sistem. Setelah itu, mengatur nilai *setpoint* kecepatan, lalu mengaktifkan kendali PID, lalu melakukan penyetelan parameter K_p , T_i , T_d sesuai dengan Gambar 3.12. Jika uji sistem dilakukan tanpa beban, proses *running* motor dilakukan dalam waktu respon sistem 15 sekon pertama, dimana respon sistem selama waktu respon tersebut akan dianalisa. Jika uji sistem dilakukan dengan beban, kopel motor dengan generator, kemudian *running* motor. Saat putaran motor sudah dalam *steady state*, sistem diberi beban listrik, kemudian ukur kecepatan aktual motor dengan *tachometer*, lalu sistem diputus dari beban listrik, lalu motor di *stop*.

3.3.10 Pengujian Penyetelan PID



Gambar 3.12 Flowchart Penyetelan PID

Gambar 3.12 merupakan diagram alir pengujian penyetelan PID, dimana proses penyetelan dimulai dengan membuat kelompok kombinasi uji PID. Kemudian, dari setiap kelompok kombinasi tersebut dibuat beberapa nilai kombinasi yang sesuai dengan aturan kelompok kombinasi. Semua nilai kombinasi di uji pada sistem sampai nilai kombinasi di kelompok kombinasi terakhir,

kemudian setiap nilai kombinasi di analisa hasil respon sistemnya. 2 nilai kombinasi yang menghasilkan spesifikasi respon sistem *settling time* paling cepat dipilih untuk dilakukan uji PID selanjutnya, yaitu penyetelan parameter PID baik itu, K_p , T_i atau T_d . Proses penyetelan parameter PID merupakan pembuatan nilai kombinasi berdasarkan 2 nilai kombinasi terpilih. Nilai kombinasi tersebut di uji ke sistem, kemudian di analisa hasil respon sistem nya. Setelah dilakukan analisa dari setiap penyetelan parameter PID, maka diperoleh 1 nilai kombinasi dengan hasil respon sistem yang terbaik dan terpilih sebagai parameter PID untuk proses uji sistem dengan beban.

Tabel 3.1 Kelompok Kombinasi Uji PID

Kelompok Kombinasi Uji PID
$T_i < K_p > T_d$, dimana $T_i = T_d$
$T_i < K_p < T_d$
$T_i > K_p > T_d$
$T_i > K_p < T_d$, dimana $T_i = T_d$
$K_p < T_i > T_d$, dimana $K_p = T_d$
$K_p < T_i < T_d$
$K_p > T_i > T_d$
$K_p > T_i < T_d$, dimana $K_p = T_d$
$K_p < T_d > T_i$, dimana $K_p = T_i$
$K_p < T_d < T_i$
$K_p > T_d > T_i$
$K_p > T_d < T_i$, dimana $K_p = T_i$
$K_p = T_i = T_d$

Tabel 3.1 merupakan aturan kelompok kombinasi uji PID yang dijadikan landasan untuk membuat nilai kombinasi yang digunakan untuk uji penyetelan PID saat uji sistem, dimana pembuatan nilai kombinasi uji harus memenuhi aturan kelompok kombinasinya. Setiap kelompok kombinasi memiliki beberapa nilai

kombinasi uji untuk mencari karakteristik kombinasi parameter PID yang tepat terhadap respon transien kecepatan motor induksi 3 fasa. Banyaknya nilai kombinasi di setiap kelompok kombinasi bergantung pada hasil pengujian awal penyetelan PID yang dilakukan. Kelompok kombinasi yang nilai kombinasinya menghasilkan respon *settling time* tercepat akan dijadikan sebagai aturan penyetelan dasar untuk uji PID selanjutnya sebagaimana *flowchart* penyetelan PID di Gambar 3.12.

3.4 Perancangan Beban

Beban yang akan dipasang pada motor induksi 3 fasa adalah beban mekanik berupa generator dan beban listrik berupa lampu pijar yang dihubungkan dengan *output* generator. Diameter *shaft* generator sebesar 16 mm, sedangkan diameter *shaft* motor sebesar 28 mm dengan kapasitas pembebanan sebesar 4 kW. Kapasitas dari generator tidak diketahui berdasarkan *nameplate*, tetapi jika dilihat dari ukuran *shaft* nya, generator tersebut berkapasitas kecil. Oleh sebab itu, untuk menjaga kestabilan putaran dan meminimalisasi gaya sentrifugal yang besar, karena dapat menyebabkan *shaft* patah, maka kecepatan putaran generator ditetapkan 500 RPM.

Motor induksi memiliki torsi yang besar di putaran rendah, maka kecepatan putaran referensinya akan diatur pada putaran yang lebih tinggi dari generator, yaitu sebesar 1200 RPM. Karena adanya perbedaan target kecepatan antara motor dan generator, maka perlu dihitung rasio *pulley* sebagaimana persamaan (3.1).

$$P_1 N_1 = P_2 N_2 \quad (3.1)$$

dimana,

P_1 = diameter pulley motor,

N_1 = kecepatan putaran motor,

P_2 = diameter pulley generator,

N_2 = kecepatan putaran generator.

Diketahui diameter pulley motor sebesar 3 inch, kecepatan putaran motor 1200 RPM, dan kecepatan putaran generator 500 RPM, maka:

$$P_1 \times N_1 = P_2 \times N_2$$

$$P_2 = (P_1 \times N_1) / N_2$$

$$P_2 = (3 \times 1200) / 500$$

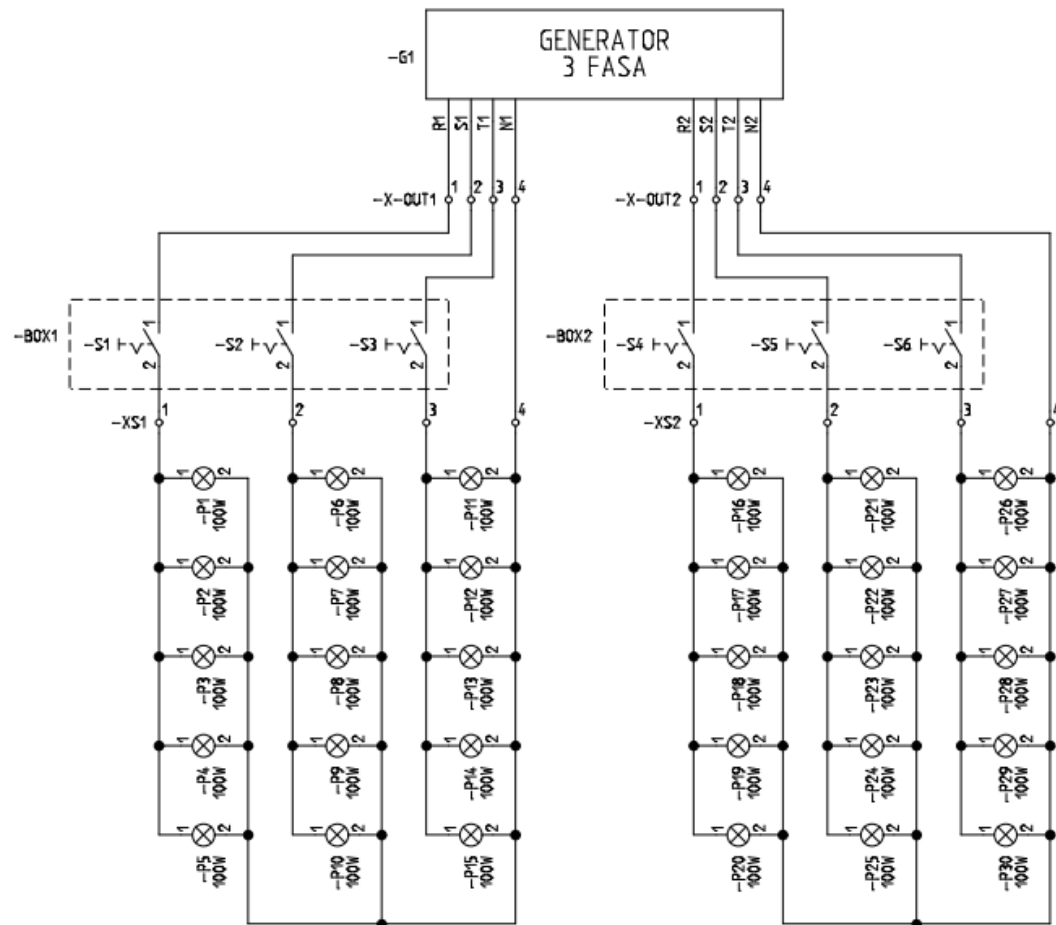
$$P_2 = 3600 / 500$$

$$P_2 = 7,2 \text{ inch}$$

Diameter pulley generator yang harus digunakan berukuran 7 inch, tidak ada pulley berukuran 7,2 inch. Hal ini dapat ditoleransi mengingat adanya faktor regangan *belt* yang digunakan untuk kopel antara motor dan generator. Faktor regangan inilah nantinya yang akan mengurangi hasil putaran akhir dari generator.

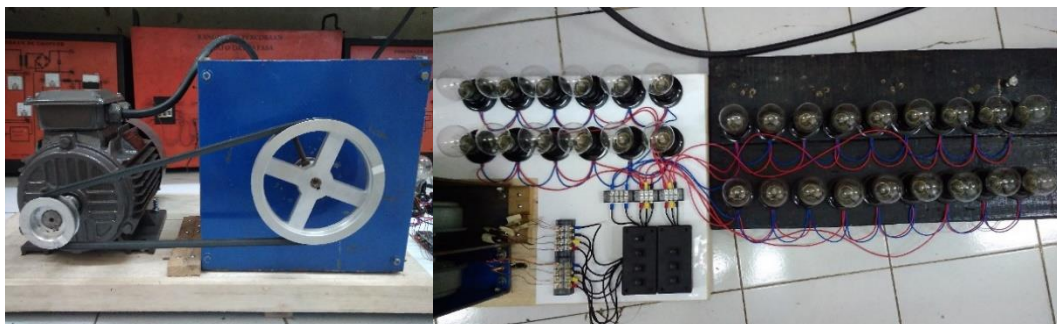
3.4.1 Wiring Diagram Beban Listrik

Gambar 3.13 menunjukkan *wiring* beban listrik, dimana ada 2 *output* generator yang masing-masing fasanya dihubungkan dengan 5 buah lampu pijar 100 watt secara paralel. Generator dihubung *wye* (bintang) sehingga beban listrik yang dihubungkan bisa berupa beban 1 fasa. Generator dikopel dengan motor induksi, dimana beban listrik ini dibuat sebagai simulasi beban mekanik untuk uji sistem.



Gambar 3.13 Wiring Diagram Beban Listrik

3.4.2 Hasil Rancangan Beban



Gambar 3.14 Hasil Rancangan Beban

Setelah dilakukan perancangan beban, *wiring* beban listrik, menghitung rasio *pulley*, dan melakukan proses instalasi, dihasilkan rancangan beban yang digunakan sebagai simulasi beban mekanik untuk uji sistem terhadap motor induksi 3 fasa seperti pada Gambar 3.14.

3.5 Alat dan Bahan Perancangan

Alat yang diperlukan dalam perancangan baik alat *hardware* maupun *software* adalah sebagai berikut.

1. Laptop dengan OS Windows 10, prosesor Core i3-6006U, RAM 4 GB.
2. EcoStruxure Machine Expert-Basic V.1 2020 sebagai alat pemrogram PLC.
3. Vijeo Designer Basic V.1.1 sebagai alat pemrogram HMI
4. AutoCAD V.2018 sebagai alat pembuat desain *layout hardware* sistem.
5. SEE Electrical sebagai alat pembuat desain *wiring diagram*.
6. Perkakas sebagai alat fabrikasi dan instalasi.

Selain alat perancangan diperlukan juga bahan untuk merancang sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Bahan Perancangan

No.	Nama Bahan	Keterangan
1	PLC	TM221CE40R Schneider
2	VFD	ATV310HU40N4E Schneider
3	HMI	Magelis GXU3512 Schneider
4	Power Supply	24 VDC 2A Omron
5	MCB	3P, 1P
6	TMCB	GV2ME20
7	Kontaktor	LC1D09
8	Relay dan Soket	MY4N, PYF8N
9	Pilot Lamp	24 VDC
10	Buzzer	24 VDC
11	Push Button	NO, NC
12	Kabel	2,5 mm, 1,5 mm, 0,5 mm
13	Skun	Y 2,5, Y 1,5 dan Ferrules 0,5
14	Duct Cable dan Dinrail	2,5 mm
15	Terminal	3P, 4P, 6P
16	Motor Induksi 3 Fasa	5,5 HP Maestro

No.	Nama Bahan	Keterangan
17	Generator	2 Output Hubungan Bintang
19	Pulley dan Belt	3 inch, 7 inch, Belt A45
19	Lampu Pijar	220 VAC 100W

3.6 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Proses pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini dimulai pada bulan September tahun 2021 yang bertempat di Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Siliwangi, Kota Tasikmalaya.