

BAB III

METODE PENELITIAN

Kajian yang dilakukan dalam skripsi adalah perancangan dan pembuatan Pengatur tegangan generator induksi menggunakan *Static VAR Compensator*. Tahapan yang digunakan untuk merealisasikan alat tersebut akan dijelaskan lebih lanjut.

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di lingkungan gedung laboratorium mesin elektrik teknik elektro fakultas teknik Universitas Brawijaya.

3.2 Alat dan bahan penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

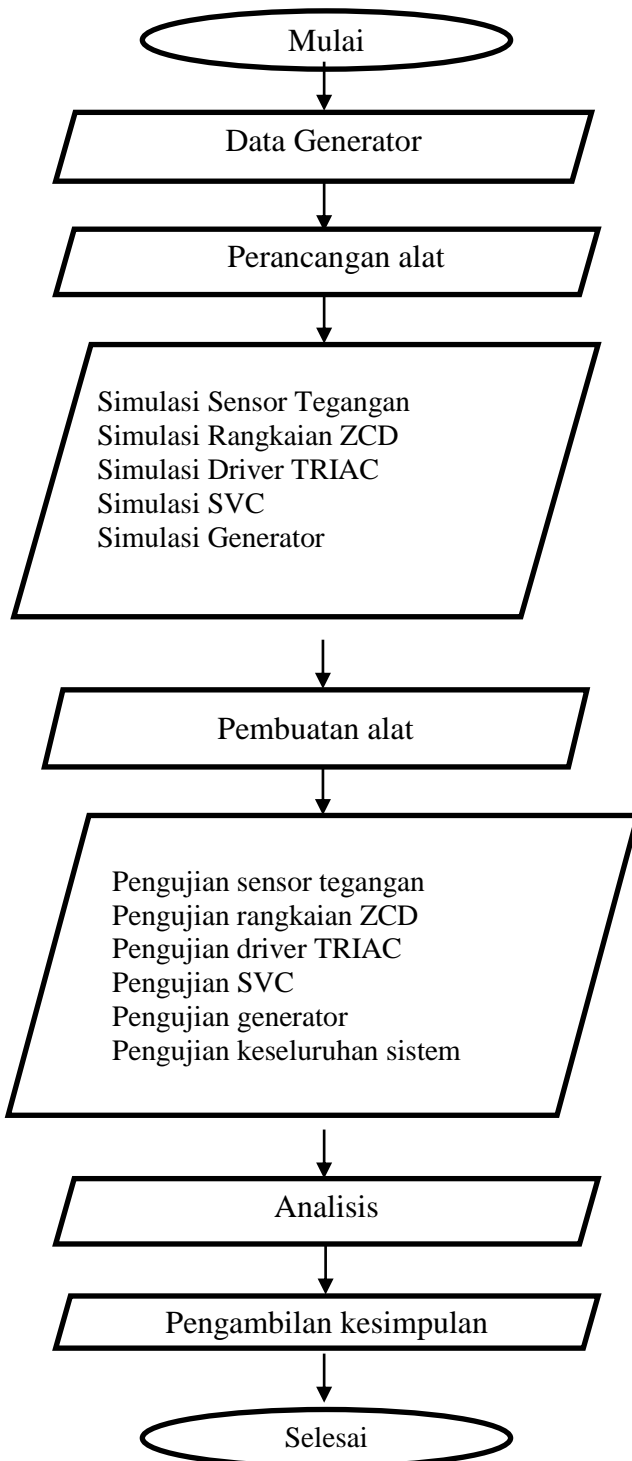
Tabel 3. 1

Alat dan bahan yang digunakan penelitian

No.	Nama Alat dan Bahan	Fungsi
1.	Generator Induksi	Sumber Listrik
2.	Motor DC	Penggerak Generator Induksi
3.	Multimeter	Alat ukur Tegangan, Arus, Tahanan dll
4.	Osiloskop	Mengetahui bentuk sinyal listrik
5.	Voltage Regulator	Pengatur besaran tegangan
6.	Solder	Menempelkan timah ke pcb
7.	Kabel	Sebagai penghubung
8.	Mikrokontroler	Pengontrol utama
9.	Voltage Divider	Penurun tegangan
10.	Sensor Tegangan	Sarana untuk mengukur tegangan
11.	Sensor Arus	Sarana untuk mengukur arus
12.	Potensiometer	Resistor variabel
13.	LCD 16x2	Menampilkan data visual
14.	LM7805 dan LM7812	Menstabilkan tegangan DC
15.	Kapasitor	Suplai daya reaktif kapasitif
16.	Induktor	Suplai daya reaktif induktif

3.3 Diagram alir penelitian

Berikut merupakan diagram alir langkah-langkah utama dalam penelitian.



Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi penelitian

Sumber : Dokumentasi sendiri

Terlihat pada gambar 3.1 adalah diagram alir metodologi penelitian yang diawali dengan mencari data pada generator dilanjutkan dengan perancangan alat. Untuk meminimalisir kesalahan maka dilakukan simulasi dengan bantuan *software* dilanjutkan

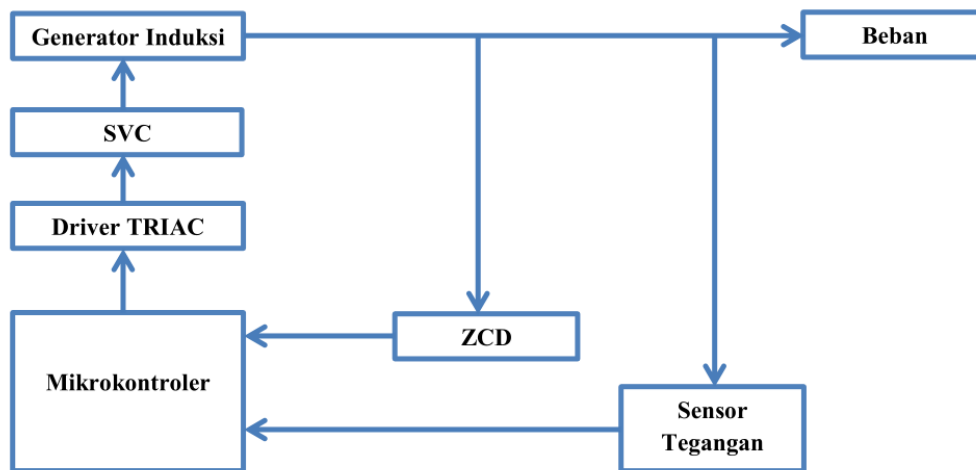
dengan pembuatan perangkat keras. Setelah selesai pembuatan alat maka dilakukan serangkaian pengujian dan analisis untuk mendapatkan kesimpulan.

3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat pengaturan tegangan pada generator induksi meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan diagram balok sistem keseluruhan.

Diagram balok merupakan penggambaran suatu sistem dalam bentuk balok, setiap balok mewakili elemen sistem yang memiliki fungsi tertentu. Diagram balok dapat memudahkan dalam menganalisa dan merancang sistem yang akan dibuat. Berikut diagram balok dari sistem terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram balok rancangan sistem pengaturan tegangan generator induksi dengan SVC

Sumber : Dokumentasi sendiri

2. Perancangan rangkaian beserta *rating* komponen dari masing masing balok

Setiap balok pada diagram balok adalah sebuah alat yang berisi berbagai komponen elektronika. Semua komponen elektronika yang ada dipasaran mempunyai spesifikasi yang berbeda-beda. Setelah menentukan spesifikasi per-balok, hal yang selanjutnya dilakukan adalah menentukan spesifikasi komponen yang digunakan pada tiap balok tersebut.

3. Perancangan perangkat lunak untuk mikrokontroler

Untuk mendapatkan pengaturan yang diinginkan maka mikrokontroler mengolah parameter yang di dapatkan oleh sensor tegangan dan arus sehingga mendapatkan sinyal pemicuan TRIAC. Pengaturan ini dibuat dengan baris-baris kode program C.

Kontroler pada penelitian ini bertugas membandingkan nilai setpoint dengan nilai dari sensor dan kemudian kontroler mengeluarkan sinyal pemicuan tertentu agar perbedaan nilai yang dibandingkan menjadi sama. Kontroler membutuhkan suatu perangkat lunak yang akan memberi perintah pada kontroler untuk melakukan tugas yang sudah direncanakan. Pada tahap ini, akan dibuat diagram alir perangkat lunak dan *listing program* yang akan diberikan ke mikrokontroler untuk mengendalikan sistem keseluruhan.

3.4.1 Penggerak mula Generator Induksi

Generator induksi untuk menghasilkan tegangan listrik perlu di kopel dengan penggerak mula. Penggerak mula yang digunakan untuk memutar generator induksi adalah motor DC penguat terpisah. Motor DC merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Pemilihan motor DC penguat terpisah karena mempunyai karakteristik kecepatan motor tidak terlalu berpengaruh terhadap naiknya torsi beban. Berikut adalah spesifikasi motor DC penguat terpisah yang digunakan untuk penggerak mula generator induksi:

- LEYBOLD DIDACTIC GMBH Typ 731 92
- 220 V ; 2,6 A
- 0.3 Kw
- 2000 rpm
- Kelas Isolasi B

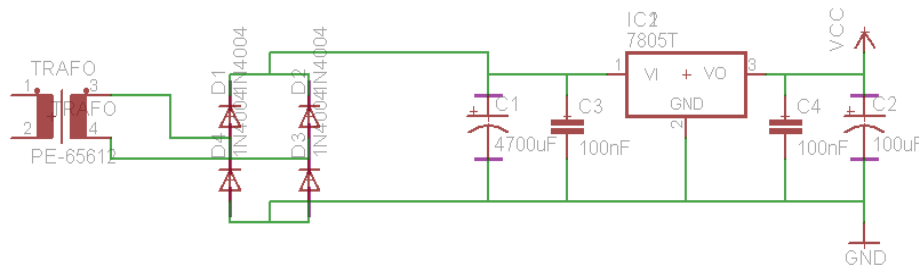
Sedangkan spesifikasi generator induksi :

- LEYBOLD DIDACTIC GMBH Typ 732 33
- Δ / Y 220/ 380 V ; 1,12/ 0,65 A
- 0.22 Kw, $\cos \phi$ 0,78
- 1410 rpm
- Kelas Isolasi : B

3.4.2 Perancangan catu daya

Rangkaian catu daya merupakan sumber tegangan DC Rangkaian ini berfungsi untuk mensuplai tegangan ke seluruh rangkaian yang ada. Rangkaian inti dari catu daya ini adalah suatu rangkaian penyearah yaitu rangkaian yang mengubah sinyal bolak-balik (AC) menjadi sinyal searah (DC).

Tegangan sumber AC 220V diturunkan menjadi 12V dengan menggunakan trafo step down. Pada rangkaian catu daya, dioda 1N4004 berfungsi sebagai penyearah gelombang penuh dari AC ke DC dengan arus sebesar 1 Ampere, sedangkan kapasitor 4700uF, 100uF, dan 100nF berfungsi sebagai filter tegangan DC atau penghalus pulsa-pulsa tegangan yang dihasilkan oleh dioda penyearah. Skema rangkaian catu daya adalah sebagai berikut:

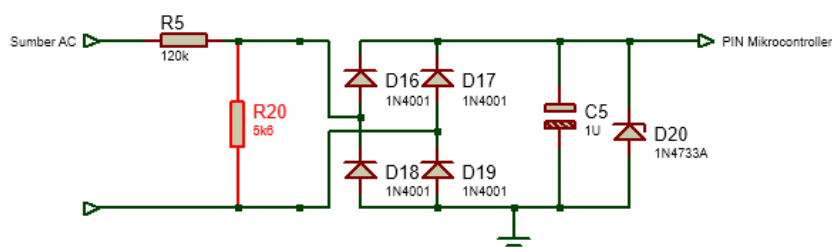


Gambar 3. 3 Rangkaian catu daya
Sumber : Dokumentasi sendiri

Pada *power supply* ini menggunakan IC LM7805 seperti terlihat pada gambar 3.3. IC LM7805 merupakan salah satu tipe regulator tetap. Regulator tegangan tipe ini merupakan salah satu regulator tegangan tetap dengan tiga terminal, yaitu terminal Vin, Gnd, Vout. Pada umumnya *power supply* selalu dilengkapi dengan regulator tegangan. Tujuan pemasangan regulator tegangan pada *power supply* adalah untuk menstabilkan tegangan keluaran apabila terjadi perubahan tegangan masukan pada *power supply*. Fungsi lain dari regulator tegangan adalah untuk perlindungan dari terjadinya hubung singkat pada beban. IC LM7805 mampu mengeluarkan tegangan +5V dengan memberikan kapasitor pada masing-masing kakinya.

3.4.3 Perancangan sensor tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk memberikan *feedback* level tegangan keluaran generator pada mikrokontroler melalui ADC. Sensor tegangan menggunakan prinsip pembagi tegangan seperti gambar 3.4, tidak menggunakan trafo supaya tidak timbul pergeseran fasa.



Gambar 3. 4 Rangkaian Sensor Tegangan
Sumber : Dokumentasi sendiri

Tegangan maksimal yang dapat dibaca ADC mikrokontroller adalah 5V DC. Penyearah gelombang penuh menggunakan dioda silikon, maka tegangan output tidak akan sama dengan tegangan input karena tegangan inputnya akan dipotong untuk membuat dioda “on” (V_T , tegangan on). Karena pada saat siklus positif dan siklus negatif terdapat dua buah dioda yang “on”. Besarnya drop tegangan *diode silicon* adalah 0,7V.

$$V_{dc} = \frac{2V_{mak}}{\pi} = 0,637V_{mak} = 0,9V_{rms}$$

Karena dipotong 2 kali pada keadaan “on” sebesar 0,7V kali maka

$$V_{dc} = 0,9(V_{rms} - 2 \times 0,7V)$$

$$5V = 0,9(V_{rms} - 1,4V)$$

$$V_{rms} = 6,9V$$

Maka masukan tegangan AC yang diperlukan untuk penyearah gelombang penuh adalah 6,9V. Nilai ini akan digunakan untuk menghitung resistor pembagi tegangan. Sensor tegangan ini direncanakan bisa membaca tegangan keluaran generator induksi 270V.

Jika ditentukan R1 sebesar 120 Ohm maka:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

$$6,9 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} 270$$

$$\frac{6,9}{270} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$0,025 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$0,025R_1 + 0,025R_2 = R_2$$

$$0,025R_1 = R_2 - 0,025R_2$$

$$0,025R_1 = 0,975R_2$$

$$R_1 = 39,0R_2$$

Bila R1 ditetapkan sebesar 220 kOhm maka

$$R_2 = \frac{220}{39,0} \text{ Ohm}$$

$$R_2 = 5,64 \text{ Ohm}$$

Karena resistor R2 5,64 Ohm di pasaran tidak ada maka diganti dengan resistor yang mendekati yaitu 5,6 Ohm.

$$V_{out} = \frac{5,6 \text{ k}\Omega}{5,6 \text{ k}\Omega + 220 \text{ k}\Omega} 270 = 6,7 \text{ V}$$

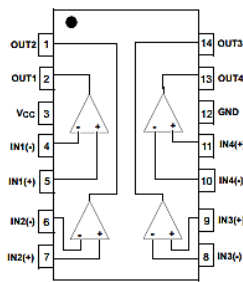
$$I_t = \frac{270V}{5,6 k\Omega + 220 k\Omega} = 1.19 mA$$

$$P_{R1} = I^2 \times R = 0,00119^2 \times 220000 = 0,31 Watt$$

$$P_{R2} = I^2 \times R = 0,00119^2 \times 5600 = 0,0079 Watt$$

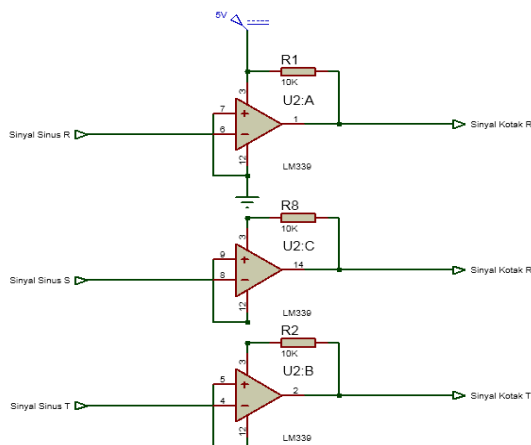
3.4.4 Perancangan *zero crossing detector*

Rangkaian *zero crossing* digunakan untuk mengetahui titik nol gelombang tegangan dan arus listrik. Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah mengubah gelombang sinusoida tegangan menjadi gelombang kotak. Pendeteksian gelombang adalah peralihan dari positif ke negatif dan dari negatif ke positif. Titik nol yang di dapat menjadi acuan untuk pemicuan TRIAC. Komponen yang sesuai adalah IC Op-Amp LM339N. Pada IC Op-Amp LM339N terdapat 4 buah Op-Amp seperti gambar 3.5 Sinyal keluaran sensor tegangan yang masih berupa gelombang sinusoida akan dirubah menjadi gelombang kotak. Rangkaian *zero crossing* ditunjukkan pada gambar 3.6.



Gambar 3. 5 Konfigurasi pin IC Op-Amp LM339N

Sumber : Datasheet LM339N



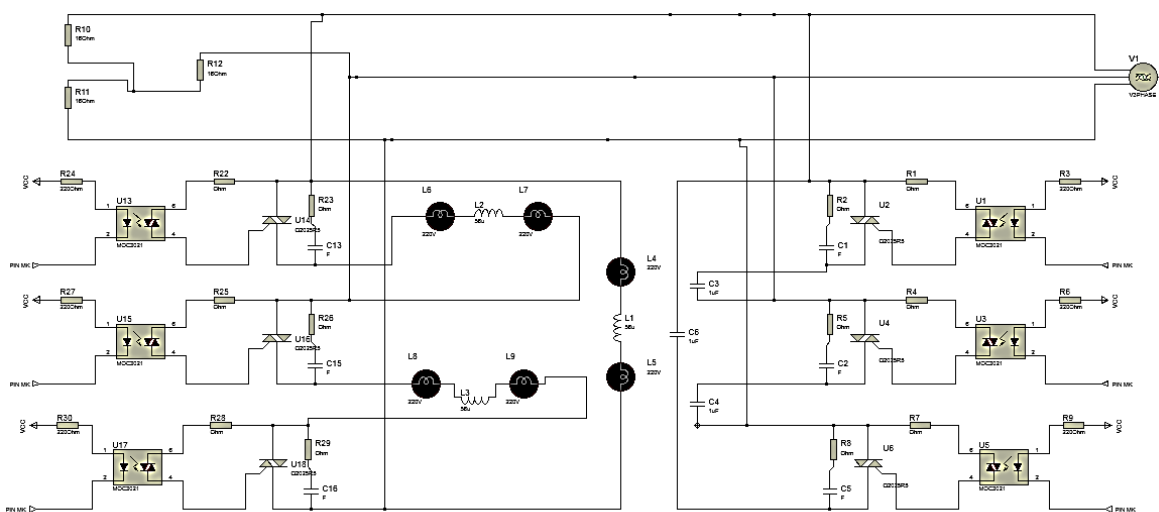
Gambar 3. 6 Rangkaian *zero crossing*

Sumber : Dokumentasi sendiri

Masukan IC LM339N berupa sinyal sinusoida dari sensor tegangan. Keluaran dari IC LM339N U2:A berupa sinyal kotak yang akan dihubungkan pada Pin 20,19,18 arduino mega 2560 untuk mendeteksi persilangan 0 (*zero*).

3.4.5 Perancangan Eksitasi SVC (*thyristor switched capacitor dan thyristor controlled reactor*)

Untuk mendapatkan tegangan yang stabil digunakan metode *thyristor switch capacitor* dan *thyristor controlled reactor*. Pada perancangan ini digunakan *thyristor switch capacitor* yang dihubungkan delta pada keluaran generator induksi seperti pada gambar 3.7. pengaturan eksitasi kapasitor dengan mengaktifkan triac tanpa pengaturan sudut pemicuan.

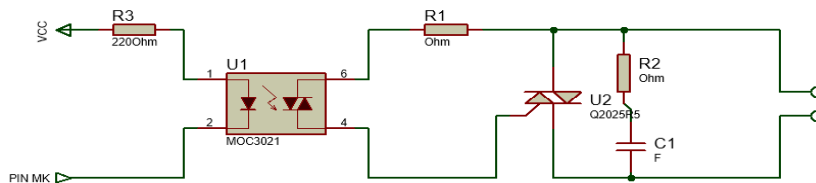


Gambar 3. 7 Perancangan *Thyristor Switched Capacitor* dan *Thyristor Controlled Reactor*
Sumber : Dokumentasi sendiri

Sedangkan untuk *thyristor controlled reactor* menggunakan induktor dan lampu pijar tersusun seperti pada gambar 3.7. metode pengaturannya yaitu dengan sudut pemicuan.

3.4.6 Perancangan Driver TRIAC

Komponen utama dalam pengaturan tegangan AC generator induksi ini adalah IC TRIAC optoisolator tipe MOC3021 dan MOC3041, TRIAC dan *snubber*. TRIAC memerlukan sinyal *trigger* dari mikrokontroler untuk mengatur sudut pemicuan. Untuk memisahkan rangkaian daya dan rangkaian kontrol digunakan IC optoisolator MOC3041 sehingga apabila terjadi kerusakan pada rangkaian daya, mikrokontroler tidak ikut rusak. Rangkaian driver triac ditunjukkan oleh gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Rangkaian *driver* triac

Sumber : Dokumentasi sendiri

Optotriac tipe MOC3041 ini dilengkapi dengan rangkaian detektor pelintas nol (*zero crossing detector*) yang mampu membuat optotriac ini mulai akan konduksi pada saat siklus tegangan masukannya pada nol. Hal ini akan mencegah terjadinya lonjakan arus yang besar secara tiba-tiba pada beban yang dikendalikan. Triac yang digunakan rangkaian pengendali ini adalah tipe BTA08 yang mempunyai karakteristik tegangan maksimal 600V dan Arus RMS 8A sehingga mampu dalam mengendalikan beban. Perlu diperhatikan bahwa MOC3041 mempunyai batasan tegangan dan arus pada masukannya. Berdasarkan datasheet MOC3041 V_f (tegangan forward dioda) sebesar 1.5V dan I_{FT} (arus forward trigger) sebesar 15mA maka:

$$V_{cc} = 5V$$

$$R = \frac{V_{in} - V_f}{I_{FT}}$$

$$= \frac{5V - 1.5V}{15mA} = \frac{3.5V}{15mA} = 233 \text{ Ohm}$$

Karena nilai resistor 233 Ohm tidak ada di pasaran maka digunakan resistor yang mendekati yaitu 220 Ohm.

3.4.7 Perancangan nilai Kapasitor SVC

Penentuan nilai kapasitor utama untuk generator induksi menggunakan parameter mesin induksi X_m , X_m di dapat sebesar 517.12 Ω dari beberapa pengujian sebelumnya (lampiran1).

$$X_m = X_c$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 517.12} = 6.1\mu F$$

Nilai 6.1 μF merupakan nilai minimal total 3 fasa pada mesin induksi. Pada perancangan ini kapasitor dihubungkan delta sehingga kapasitor yang diperlukan tiap fasa dapat di hitung :

$$Q_c = \frac{C}{V^2 \times 2\pi \times f}$$

$$Q_c = \frac{6.1}{380^2 \times 314}$$

$$Q_c = 276.58 \text{ VAr}$$

Jika dihubungkan delta maka

$$C_D = \frac{Q}{3V^2 \times 2\pi \times f}$$

$$C_D = \frac{276.58}{3 \times 380^2 \times 2\pi \times f}$$

$$C_D = 2.03 \mu F$$

Kapasitor minimal yang diperlukan sebesar $2.03 \mu F$, karena dipasaran tidak ada dengan nilai tersebut maka digunakan nilai kapasitor $2.5 \mu F$.

Untuk dapat merancang *thyristor switch capacitor* maka perlu menghitung kapasitor yang akan digunakan dengan menentukan besar kapasitor maksimum yang diperlukan.

$$P \text{ Nom} = 220 \text{ W}$$

$$\eta \text{ m} = 0.8 \text{ (Asumsi)}$$

$$\text{Cos}\phi = 0.78, \phi = 38.73^\circ$$

$$P \text{ Input} = 220/0.8$$

$$= 275 \text{ W}$$

Daya reaktif yang dibutuhkan untuk mesin adalah pada saat menjadi motor :

$$Q \text{ m} = P \text{ Input} \tan \phi$$

$$= 275 \tan 38.73^\circ$$

$$= 220.55 \text{ VAr}$$

Pada saat menjadi generator ;

$$Q \text{ g} = Q \text{ m} \tan \phi$$

$$= 220 \tan 38.73^\circ$$

$$= 176.88 \text{ VAr}$$

$$\Delta Q = Q \text{ m} + Q \text{ g}$$

$$= 220.55 \text{ VAr} + 176.88 \text{ VAr}$$

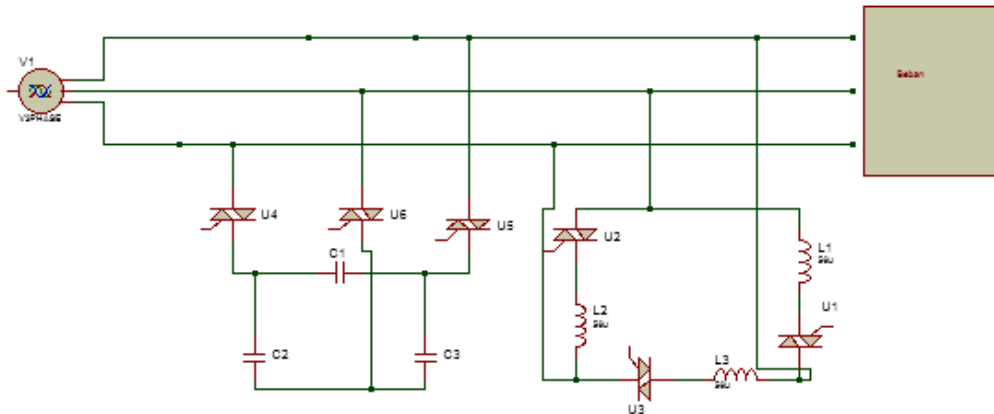
$$= 397.1 \text{ VAr}$$

$$C_D = \frac{Q}{3V^2 \times 2\pi \times f}$$

$$C_D = \frac{397.1}{3 \times 380^2 \times 2\pi \times f}$$

$$C_D = 2.91 \mu F$$

Karena kapasitor utama menggunakan $2.5 \mu F$ maka $2.91 - 2.5 = 0.4 \mu F$. Ukuran tersebut tidak ada dipasaran sehingga menggunakan kapasitor $1 \mu F$.

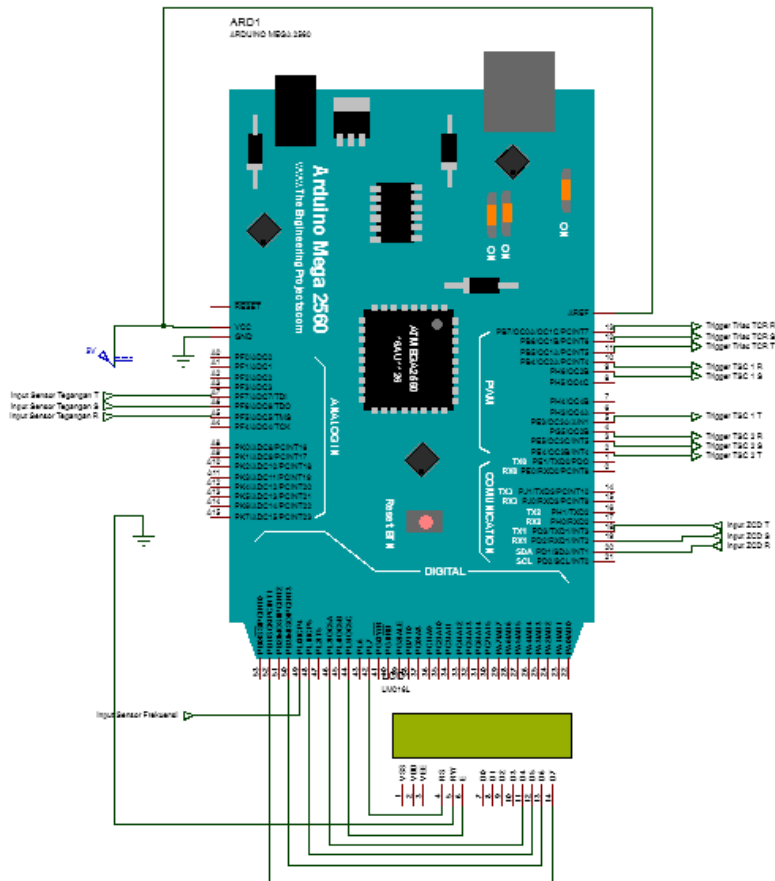


Gambar 3. 9 Konfigurasi TSC dan TCR

Terlihat pada Gambar 3.9 adalah *thyristor switched capacitor* hubungan delta dan sebelah kanan *thyristor controlled reactor* hubungan delta.

3.4.8 Perancangan Mikrokontroler

Pembuatan sistem otomatis ini tentu menggunakan pengontrol sebagai pengendali alat input dan output yaitu menggunakan mikrokontroler. Pada perancangan ini dipilih arduino mega2560 sebagai pengendali utama *static VAR compensator* karena mempunyai 6 *external interrupt* yang digunakan sebagai pendeteksi titik nol sinyal sinusoida. Konfigurasi kaki I/O dari mikrokontroler Arduino2560 sebagai berikut :



Gambar 3. 10 Rangkaian Konfigurasi PIN Arduino2560
Sumber : Dokumentasi sendiri

Pada gambar 3.10 diatas arduino2560 memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin. Pada perancangan ini pin-pin yang digunakan :

PIN 52	: D7 LCD 16x2
PIN 50	: D6 LCD 16x2
PIN 48	: D5 LCD 16x2
PIN 46	: D4 LCD 16x2
PIN 44	: E LCD 16x2
PIN 42	: RS LCD 16x2
PIN 49	: Input sensor Frekuensi
PIN 52	: D7 LCD 16x2
PIN 20	: Input ZCD R
PIN 19	: Input ZCD S
PIN 18	: Input ZCD T
PIN 13	: Trigger TCR R

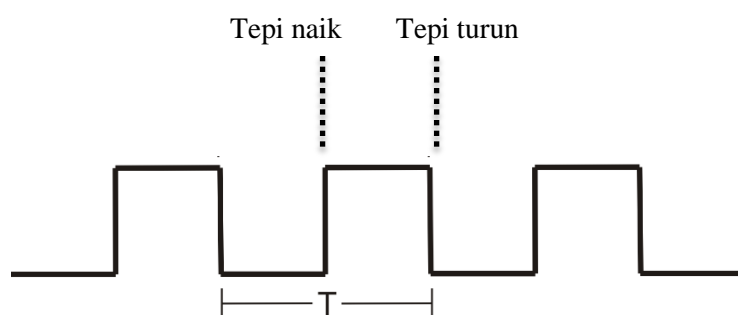
PIN 12	: Trigger TCR S
PIN 11	: Trigger TCR T
PIN 10	: Trigger TSC 1 R
PIN 9	: Trigger TSC 1 S
PIN 5	: Trigger TSC 1 T
PIN 4	: Trigger TSC 2 R
PIN 3	: Trigger TSC 2 S
PIN 2	: Trigger TSC 2 T
PIN A5	: Input sensor Tegangan R
PIN A6	: Input sensor Tegangan S
PIN A7	: Input sensor Tegangan T

3.4.9 Perancangan perangkat lunak

Perangkat lunak merupakan sekumpulan instruksi yang digunakan sebagai sistem operasi yang mengontrol perangkat keras dalam memberikan masukan dan keluaran data serta pertukaran informasi. Jadi perangkat lunak direalisasikan untuk mendukung perangkat keras.

3.4.9.1 Pembacaan titik nol

Pembacaan titik nol digunakan sebagai referensi waktu penundaan (*delay*) *trigger* TRIAC. Betuk pulsa keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* adalah sinyal kotak yang akan dibaca oleh mikrokontroler melalui pin interupsi eksternal. Sinyal keluaran dari rangkaian *zero crossing detector* memiliki bentuk seperti gambar 3.11.

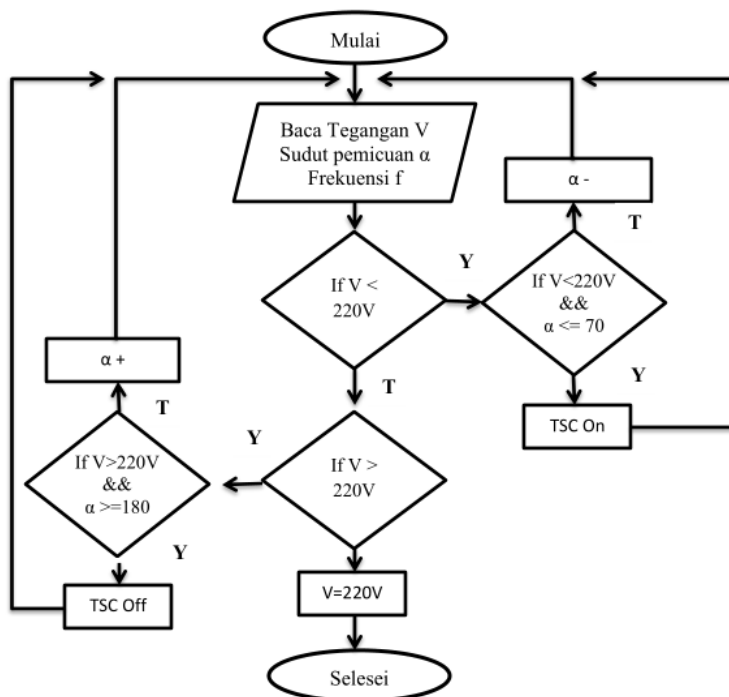


Gambar 3. 11 Sinyal keluaran rangkaian *zero crossing detector*
Sumber : Dokumentasi sendiri

Pembacaan titik nol pada mikrokontroler arduino mega2560 dengan menggunakan PIN *external interrupt* dengan mode *CHANGE*. Dimana mode *CHANGE Interrupt* akan diaktifkan saat terjadi perubahan logika baik dari *low* ke *high* ataupun *high* ke *low*. Namun pengaktifan hanya bersifat sementara dan beberapa saat kemudian program akan berjalan kembali seperti semula.

3.4.9.2 Flowchart program

Pada pembuatan sebuah sistem pengontrolan diperlukan sebuah gambar yang dapat menjelaskan alur ataupun langkah – langkah dari suatu sistem yang dibuat. Sehingga dapat memberikan penjelasan dalam bentuk gambar. Penjelasan yang berupa proses merupakan gambar dari *flowchart* sistem yang akan dibuat. Tujuan dari pembuatan *flowchart* ini adalah untuk mempermudah untuk dapat memahami langkah – langkah serta kemungkinan – kemungkinan dari beberapa keputusan. Pengaturan tegangan generator induksi dengan Mikrokontroler arduino mega2560 digunakan *flowchart* program sebagai berikut :



Gambar 3. 12 Flowchart program keseluruhan
Sumber : Dokumentasi sendiri

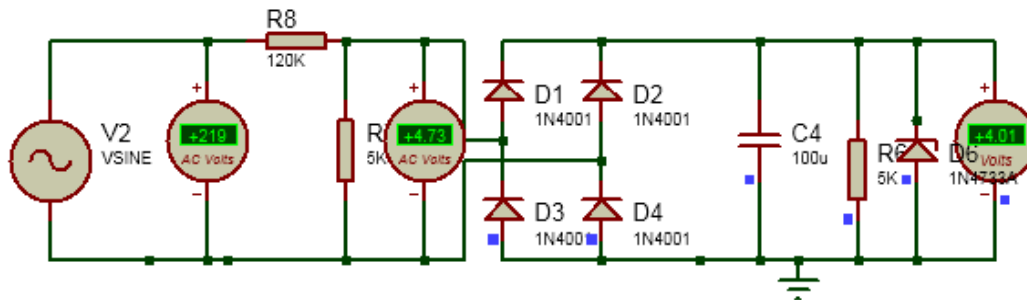
Terlihat pada gambar 3.12 *flowchart* diawali dengan penentuan *setpoint* membaca nilai referensi tegangan, sudut pemucuan dan frekuensi. Dilanjutkan dengan membandingkan nilai tegangan apakah lebih kecil dari 220V jika terpenuhi maka nilai sudut pemucuan akan ditambah sampai memenuhi tegangan 220V. Apabila tegangan kurang dari 220 dan sudut pemucuan sudah mencapai nilai terbesar maka TSC akan aktif sehingga akan menaikkan level tegangan.

3.5 Simulasi alat

Sebelum melakukan pembuatan alat, kita membutuhkan simulasi guna memperkecil kemungkinan kegagalan. *Software* yang digunakan adalah Proteus untuk mensimulasikan beberapa rangkaian pendukung pengaturan tegangan pada generator induksi.

3.5.1 Simulasi Sensor Tegangan

Simulasi rangkaian sensor tegangan digunakan untuk melihat nilai hasil sensor. Rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.13.

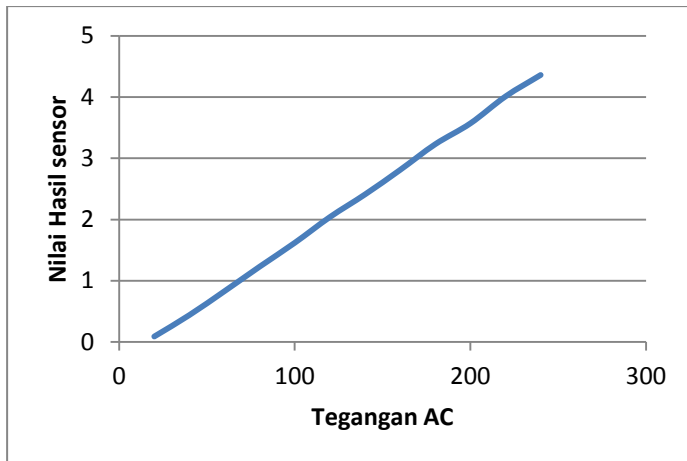


Gambar 3. 13 Simulasi sensor tegangan
Sumber : Dokumentasi sendiri

Tabel 3. 2
Hasil simulasi sensor tegangan

No.	V AC (Volt)	V DC (Volt)	V AC Hasil Pembacaan Mikrokontroler
1.	20	0.09	20.13
2.	40	0.44	40.12
3.	60	0.83	60.32
4.	80	1.23	80.23
5.	100	1.62	100.14
6.	120	2.04	120.19
7.	140	2.41	140.11
8.	160	2.81	160.13
9.	180	3.23	180.36
10.	200	3.57	200.32
11.	220	4.01	220.45
12.	240	4.36	240.23

Dari tabel 3.2 dapat dibuat grafik hubungan sumber tegangan dan hasil keluaran sensor tegangan seperti ditunjukkan pada gambar 3.14.

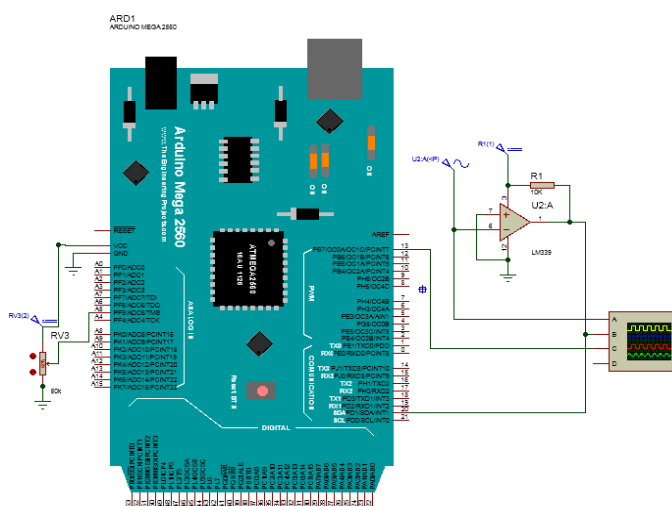


Gambar 3. 14 Grafik hasil simulasi sensor tegangan
Sumber : Dokumentasi sendiri

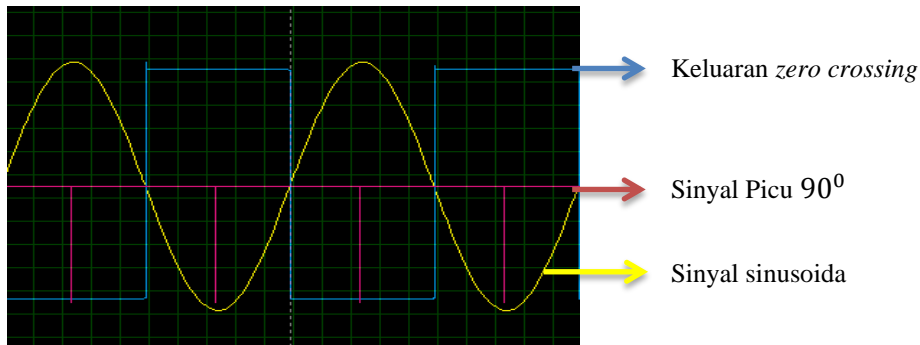
Pada gambar 3.14 menunjukkan hasil simulai keluaran sensor tegangan linier dan sesuai yang direncanakan, sehingga dapat dijadikan masukan ADC mikrokontroler untuk diolah menjadi tegangan terukur.

3.5.2 Simulasi pemicuan TRIAC

Pemicuan TRIAC dilakukan dengan bantuan mikrokontroler arduino mega2560. Pemicuan TRIAC berdasarkan referensi titik nol dengan mengubah - ubah *delay trigger* sesuai yang diharapkan. Pada simulasi ini keluaran rangkaian *zero crossing* di hubungkan pada pin 20 sedangkan pin 13 sebagai sinyal picu. Rangkaian pemicuan TRIAC dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Rangkaian simulasi pemicuan TRIAC
Sumber : Dokumentasi sendiri

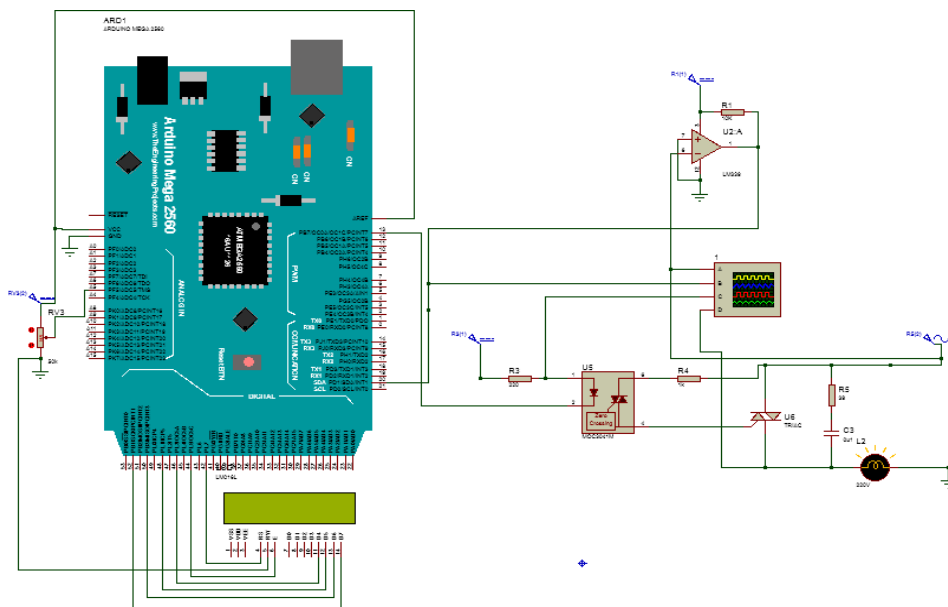


Gambar 3. 16 Hasil simulasi Rangkaian picu
Sumber : Dokumentasi sendiri

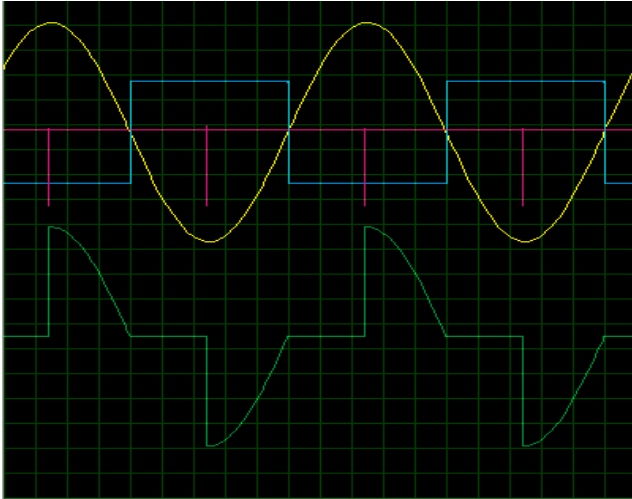
Terlihat pada gambar 3.16 hasil simulasi menunjukkan keluaran sinyal kotak dari komparator Op-Amp saling berkebalikan dengan sumber sinusoida. Sinyal kotak naik atau turun tepat pada titik nol sinyal sinusoida sehingga dapat digunakan *zero crossing*. Setelah dilakukan pengolahan maka mikrokontroler dapat mengeluarkan sinyal picu sesuai yang diinginkan. Berdasarkan simulasi diatas maka telah sesuai dengan perancangan, sehingga dapat diaplikasikan ke perangkat keras.

3.5.3 Simulasi TCR

Simulasi ini bertujuan untuk melihat bentuk gelombang keluaran TRIAC yang di picu 90^0 . Rangkaian simulasi TCR dapat di lihat pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Rangkaian simulasi *thyristor controlled reactor*
Sumber : Dokumentasi sendiri



Gambar 3. 18 Bentuk gelombang simulasi
Sumber : Dokumentasi sendiri

Pada gambar 3.18 gelombang keluaran TRIAC pada sudut pemucuan 90^0 dapat dilihat dengan warna hijau yang tepat terpotong pada sudut 90^0 . Sehingga telah sesuai dengan perancangan awal.

3.6 Pembuatan alat

Pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Perangkat keras

Perangkat keras yang dibuat adalah rangkaian dari masing-masing blok diagram sistem yang telah dirancang dan disimulasikan sebelumnya.

2. Perangkat lunak

Pembuatan perangkat lunak meliputi program yang telah dirancang dan disimulasikan sebelumnya untuk mengendalikan seluruh sistem.

3.7 Pengujian dan Analisis Alat

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian alat. Pengujian dilakukan pada tiap bagian dan kemudian secara keseluruhan sistem. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Sensor Tegangan
2. Pengujian driver TRIAC
3. Pengujian rangkaian *Zero Crossing Detector*
4. Pengujian sinyal *switching* pada mikrokontroler
5. Pengujian *SVC*
6. Pengujian Generator induksi tanpa beban dan berbeban
7. Pengujian keseluruhan sistem

3.8 Pengambilan kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian sistem secara keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan tentunya memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk penyempurnaan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)