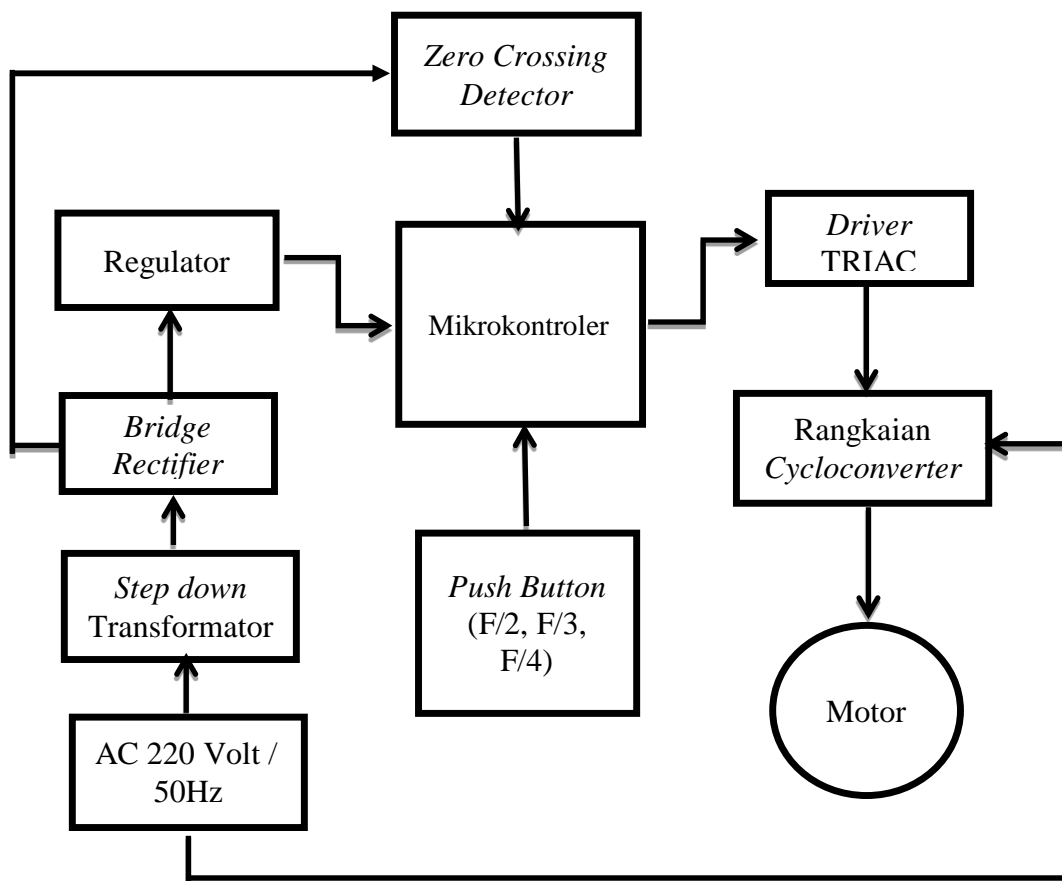


## BAB IV PERANCANGAN SISTEM

### 4.1 Perancangan Sistem

Sistem rangkaian *cycloconverter* satu fasa yang ditunjukkan pada gambar 4.1 merupakan gambaran sederhana system kelistrikan pada penelitian yang dilakukan. Gambaran ini berupa bagian pemodelan sumber AC, *zero crossing detector* (ZCD), *cycloconverter*, mikrokontroler, *driver* TRIAC dan beban.



Gambar 4.1 Sistem rangkaian *cycloconverter* satu fasa

Sistem pada gambar 4.1 dimulai dengan deteksi polaritas yang dilakukan oleh *zero crossing detector* untuk mendapatkan titik persimpangan antara polaritas gelombang tegangan AC dengan titik nol. Sinyal keluaran *zero crossing detector* ini akan diproses oleh mikrokontroler. Rangkaian driver TRIAC berfungsi sebagai jembatan pemisah antara rangkaian elektronika daya TRIAC tegangan 220 volt AC dengan rangkaian kontrol 5 volt

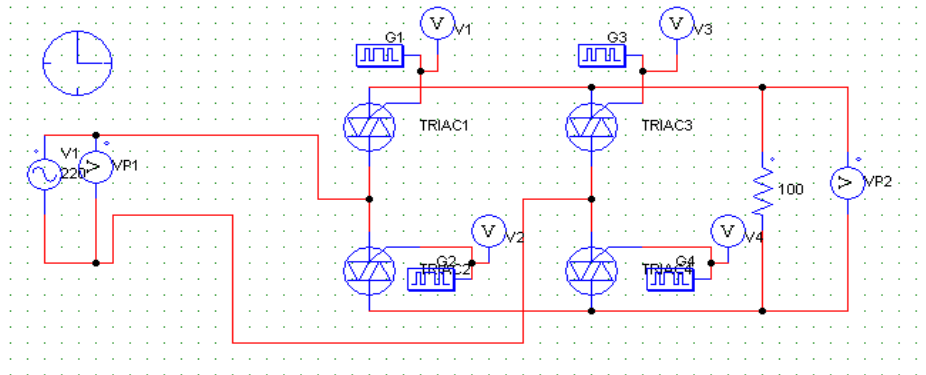
DC untuk menghindari kerusakan pada mikrokontroler. Sinyal dari *driver* TRIAC akan diteruskan ke *gate* TRIAC, mikrokontroler diprogram dengan bahasa *assembly*. Tegangan keluaran dari *cycloconverter* diteruskan ke motor induksi 1 fasa untuk mengatur kecepatan putar dari motor induksi 1 fasa tersebut, dengan pilihan 3 frekuensi yang berbeda ( $f/2$ ,  $f/3$ ,  $f/4$ ).

Berikut adalah cara kerja dari masing-masing blok diagram:

1. Motor sebagai beban yang digunakan, jenis motor yang digunakan yaitu motor induksi 1 fasa (motor kapasitor).
2. Rangkaian *cycloconverter* satu fasa terdiri dari 4 buah TRIAC, berfungsi untuk mengatur frekuensi masukan AC.
3. *Driver* TRIAC mengubah sinyal picu dari mikrokontroler menjadi sinyal picu bagi TRIAC sekaligus sebagai perangkat isolasi antara rangkaian kontrol dengan rangkaian *cycloconverter*.
4. Mikrokontroler mengolah seluruh data menjadi waktu picu *gate* TRIAC.
5. Rangkaian *zero crossing detector* sebagai pendeteksi sinyal tegangan AC berpotong dengan titik nol yang selanjutnya digunakan untuk sinyal masukan mikrokontroler.
6. *Push button* untuk memberikan input pilihan frekuensi keluaran *cycloconverter*:  $f/2$ ,  $f/3$ ,  $f/4$ .
7. Regulator digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran dioda *bridge*.
8. *Bridge rectifier* sebagai penyearah gelombang penuh keluatan dari *step down* transformator
9. *Step down* transformator berfungsi sebagai penurun tegangan sumber AC 220 V menjadi 12 V.
10. AC 220 V / 50 Hz sebagai sumber utama.

## 4.2 Pemodelan *Cycloconverter*

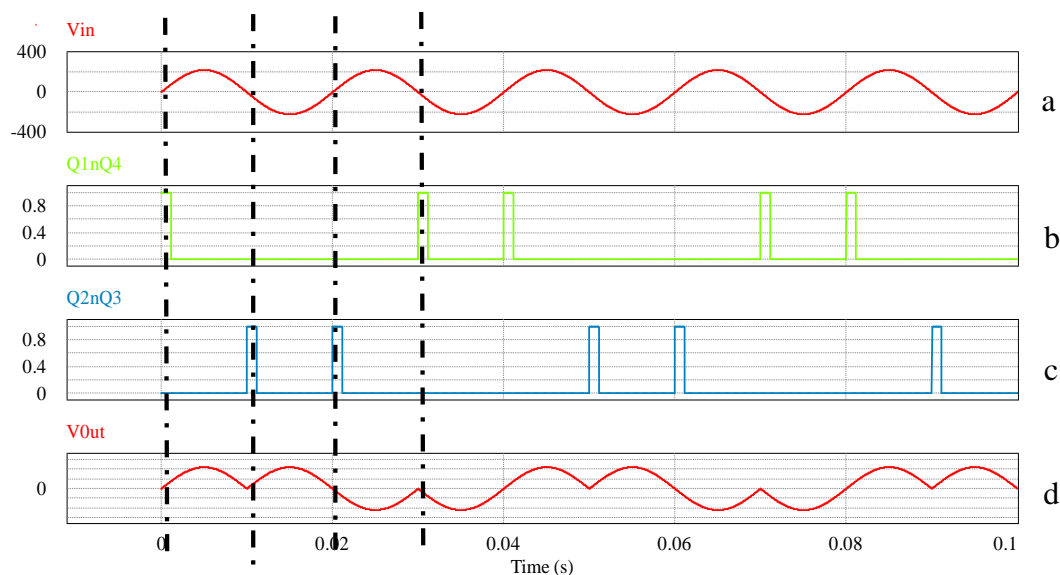
Pada penelitian ini, *cycloconverter* menggunakan TRIAC sebagai rangkaian switch. Rangkaian *cycloconverter* terdiri dari 4 *switch* dengan satu lengan keluaran yang terhubung langsung dengan beban. Empat komponen *switching* pada rangkaian berupa TRIAC. Empat TRIAC tersebut akan dikontrol dengan mikrokontroler.



Gambar 4.2 Rangkaian *cycloconverter*

### 4.2.1 Prinsip Kerja

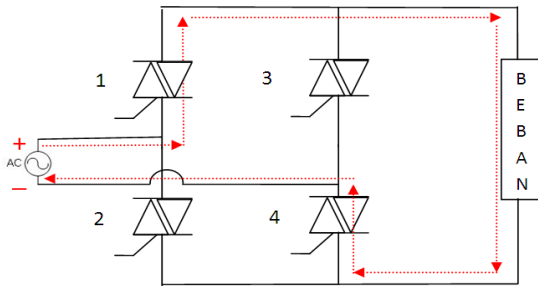
Prinsip kerja dari *cycloconverter* dengan menggunakan triac, untuk memperoleh frekuensi keluaran ( $f_o$ ) setengah dari frekuensi input ( $f_i$ ) dapat dilihat pada gambar berikut:



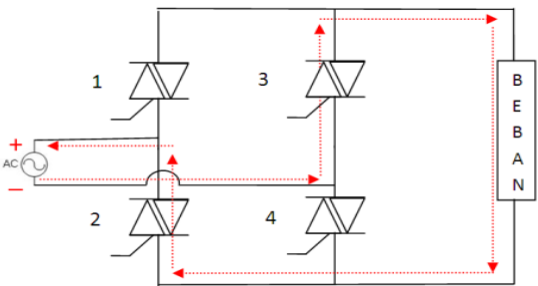
Gambar 4.3 Prinsip kerja *cycloconverter* (a) Sinyal masukan *cycloconverter*, (b) Sinyal *trigger* untuk *gate* 1 dan 4, (c) Sinyal *trigger* untuk *gate* 2 dan 3, (d) Sinyal keluaran *cycloconverter*

Gambar 4.3 diatas dapat disimpulkan bahwa untuk memperoleh setengah gelombang keluaran yang pertama (polaritas keluaran positif) maka *gate* 1 dan *gate* 4 akan menutup

(konduksi) saat sumber AC berpolaritas positif. Sedangkan saat polaritas sumber AC negatif maka *gate 2* dan *gate 3* yang konduksi sesuai gambar 4.4 dan gambar 4.5.

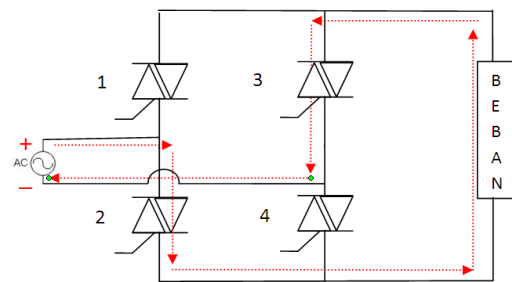


Gambar 4.4 Gate 1 dan gate 4 konduksi saat sumber AC positif

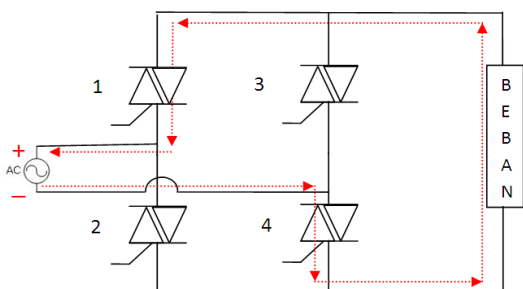


Gambar 4.5 Gate 2 dan gate 3 konduksi saat sumber AC negatif

Untuk memperoleh setengah gelombang keluaran yang kedua (polaritas keluaran negatif) maka *gate 2* dan *gate 3* konduksi saat sumber AC positif. Sedangkan saat polaritas sumber AC negatif *gate 1* dan *gate 4* yang konduksi sesuai gambar 4.6 dan 4.7 berikut ini.



Gambar 4.6 Gate 2 dan gate 3 konduksi saat sumber AC positif



Gambar 4.7 Gate 1 dan gate 4 konduksi saat sumber AC negatif

### 4.3 Pemilihan Motor dan Spesifikasi Motor

Pemilihan motor berdasarkan motor yang terdapat di Laboratorium Elektronika Daya Teknik Elektro UB, motor yang digunakan adalah motor kapasitor (motor induksi 1 fasa). Table 3.1 berikut merupakan spesifikasi motor kapasitor yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 4.1  
Spesifikasi Motor Induksi Satu Fasa

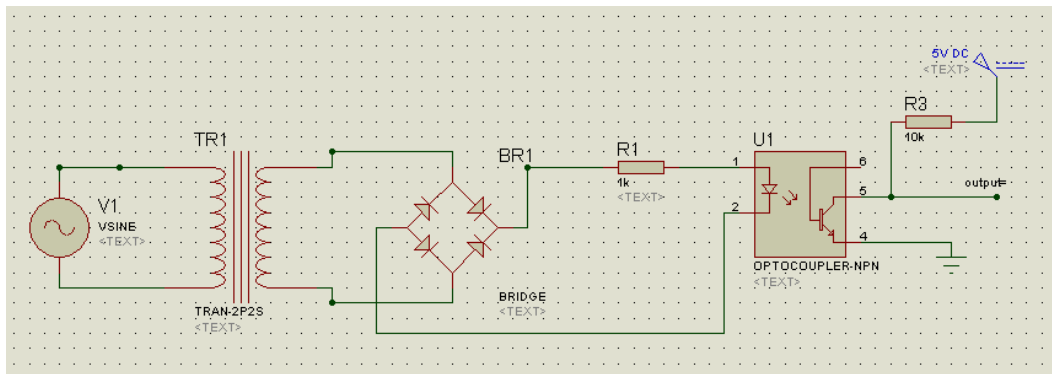
#### *Single-Phase Induction Motors*

<i>Merk</i>	Leybold – heraeus GMBH
<i>Tipe</i>	732 06
<i>P</i>	0.3 KW
<i>V</i>	220 Volt
<i>f</i>	50 Hz
<i>I</i>	1.4 A
<i>CA</i>	20 $\mu$ F
<i>CB</i>	12 $\mu$ F
<i>Cos <math>\theta</math></i>	0.94

### 4.4 Rangkaian Zero Crossing Detector

Agar bias menentukan waktu tunda dengan tepat untuk mendapatkan hasil pengaturan daya yang akurat, mikrokontroler harus mengetahui titik nol (*zero crossing*) dari tegangan jala-jala listrik. *Zero crossing* adalah rangkaian yang digunakan untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus AC 220 volts saat melewati titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi adalah peralihan dari polaritas positif menuju negatif dan peralihan dari negatif menuju positif. Dengan demikian diperoleh frekuensi sebesar dua kali frekuensi gelombang sumber sinus.

Berikut adalah simulasi rangkaian *zero crossing detector* yang ditunjukkan oleh gambar 4.8 di bawah:



Gambar 4.8 Rangkaian *zero crossing detector*

Pada gambar 4.8 sumber tegangan 220 volt AC diturunkan tegangannya menjadi tegangan 12 volt AC menggunakan trafo *step-down*. Dari trafo kemudian diseri dengan diode bridge 1N4007 yang mempunyai kemampuan menahan tegangan balik hingga 1000 volt, dari dioda kemudian masuk ke *optocoupler* (OC) 4N35 yang memiliki kemampuan menahan tegangan isolasi sebesar 7500 volt, serta memiliki waktu *on* (ton) dan *off* (toff) cepat sesuai dengan datasheet 4N35. *Optocoupler* disini berfungsi sebagai isolasi antara rangkaian *zero crossing detector* dengan rangkaian minimum sistem mikrokontroler. Dari pin kolektor 4N35 kemudian diseri dengan sumber tegangan mikrokontroler 5 volt DC. Untuk menghubungkannya dengan mikrokontroler, tegangan +5 volt perlu diberi tahanan pembatas. Disini menggunakan resistor 10k $\Omega$ .

Perhitungan nilai resistor:

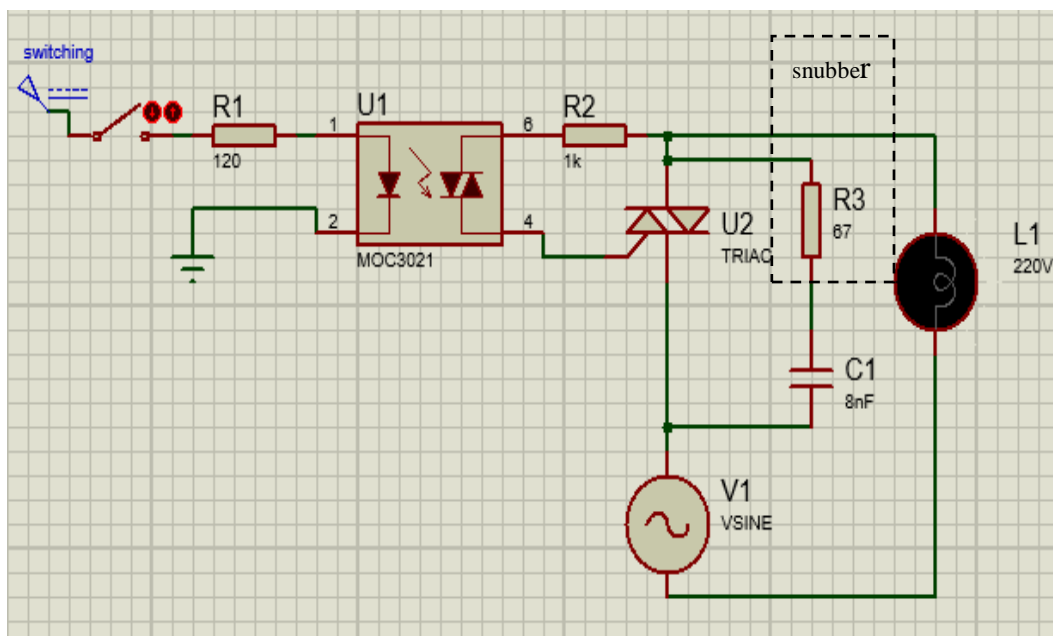
$$R_1 = \frac{V_{peak} - V_d}{I_f} = \frac{12\sqrt{2} - 3}{10 \text{ mA}} = 1.39 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = \frac{V_{cc}}{I_{min}} = \frac{5}{0.5 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega$$

#### 4.5 Perancangan *Driver* TRIAC

Keluaran mikrokontroler tidak bisa langsung digunakan untuk menyalakan (men-trigger) TRIAC secara langsung karena dikhawatirkan arus yang mengalir pada TRIAC menuju mikrokontroler dan akan merusak mikrokontroler. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah rangkaian *driver* yang digunakan untuk memisahkan rangkaian tegangan AC (sisi TRIAC) dengan rangkaian tegangan DC (sisi mikrokontroler).

Komponen utama pembentuk rangkaian *driver* ini berupa *optoisolator* dengan tipe MOC3021, dimana penggeraknya menggunakan diode infra merah dan keluarannya berupa *photo* TRIAC. Bentuk rangkaian dari *driver* terlihat seperti pada gambar 4.9 dibawah.



Gambar 4.9 Skema rangkaian *driver* TRIAC

Pada rangkaian *driver* ini yang perlu diperhatikan adalah besarnya arus yang diperlukan untuk menggerakkan *photo* TRIAC agar terhubung, dan besarnya arus yang dibutuhkan oleh rangkaian daya (TRIAC). Besarnya arus yang diperlukan pada led infra merah agar *photo* TRIAC terhubung adalah berkisar antara 8 – 15 mA, sedangkan arus maksimum yang diperbolehkan melewati *photo* TRIAC adalah sebesar 100 mA. Dengan menggunakan  $V_{cc}$  sebesar 5 volt, maka untuk mengalirkan arus pada led ( $I_d$ ) sebesar 10 mA diperlukan resistor dengan nilai:

$$R_1 = \frac{V_{cc} - V_d}{I_d} = \frac{(5 - 3)V}{10mA} = 200\Omega$$

Besarnya arus yang mengalir pada *photo* TRIAC ditentukan melalui arus yang diperlukan oleh gate pada triac daya. Hal ini tergantung pada TRIAC yang dipakai, disini

menggunakan TRIAC dengan tipe BTA41. Pada sistem ini TRIAC yang digunakan membutuhkan arus gate maksimum 8 A dan minimum 50 mA, sehingga nilai resistor minimal yang harus dipasang pada  $R_2$  adalah sebesar:

$$R_2 = \frac{V_{ac} - V_g}{I_{gmax}} = \frac{(220 - 5)V}{8A} = 26.8 \Omega$$

Untuk nilai resistor maksimal yang kepasang:

$$R_2 = \frac{V_{ac} - V_g}{I_{gmin}} = \frac{(220 - 5)V}{0.05A} = 4.3 k\Omega$$

Pada perancangan ini digunakan  $R_1$  sebesar 220  $\Omega$  menyesuaikan resistor yang ada dipasaran, untuk  $R_2$  digunakan resistor sebesar 1 k $\Omega$  agar arus yang ke gate TRIAC tidak terlalu besar.

Untuk mengamankan TRIAC saat menyuplai motor induksi karena adanya induktif maka diperlukan rangkaian *snubber*. Untuk penentuan nilai resistor dan kapasitor pada rangkaian snubber dapat dihitung sebagai berikut: diketahui  $dV/dt$  komponen TRIAC BA41 sebesar 500 V/ $\mu$ s, tegangan puncak 220 volt. Maka nilai frekuensi resonansi  $f_0$  adalah:

$$f_0 = \frac{dV/dt}{2\pi V_p} = \frac{500}{2 \times 3.14 \times 220} = 0.36 Hz$$

Untuk nilai induktansi L pada motor induksi digunakan nilai asumsi  $L=25 \mu$ F, sehingga nilai kapasitor:

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = 7,8 nF$$

$$R = \sqrt{\frac{L}{C_s}} = 67 \Omega$$

#### 4.6 Perancangan Rangkaian Catu Daya

Arduino yang berfungsi sebagai mikrokontroler membutuhkan catu daya antara 7-12 volt yang direkomendasikan. Dalam penelitian ini akan menggunakan catu daya sebesar 12volt.

Catu daya 12 volt membutuhkan trafo *stepdown* 220/12 volt. Kemudian disearahkan dengan penyearah gelombang penuh. Untuk menyearahkan komponen yang dipakai adalah *bridge dioda*. Sebagai regulator tegangan untuk menjaga tegangan agar tetap konstan, komponen yang digunakan yaitu IC 7812.

Sebagai filter tegangan agar terhindar dari *ripple* yang cukup besar maka harus menghitung besar kapasitor yang digunakan seperti berikut:

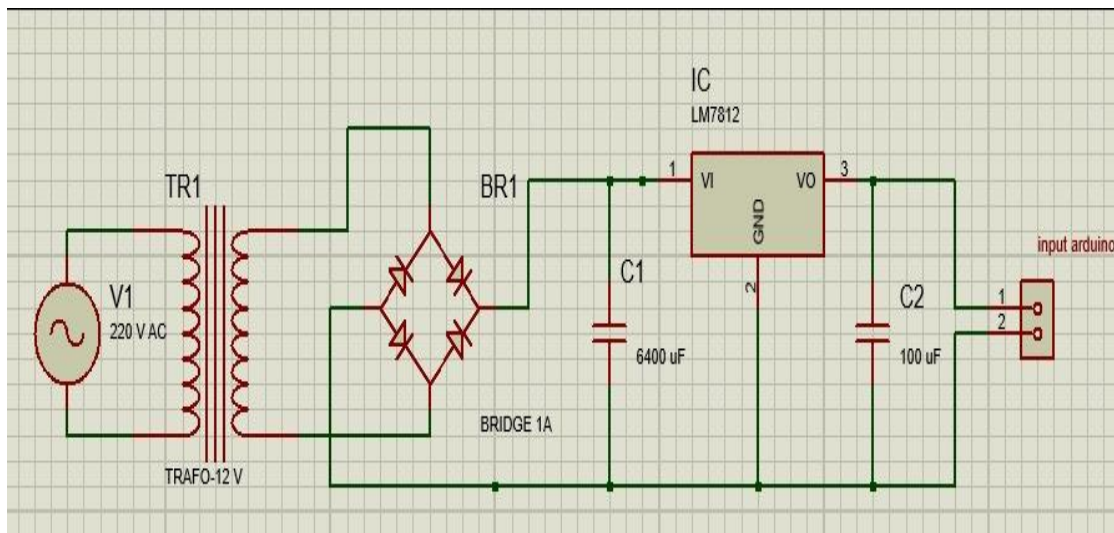


Dengan Resistansi Arduino =  $171,4\Omega$  dan prosentase *ripple* ( $\Delta V/V_o$ ) 1%, maka:

$$C = \frac{1}{2 f R \left(\frac{\Delta V_o}{V_m}\right)}$$

$$C = \frac{1}{2 (50)(171,43)(0,01)} = 5833 \mu F$$

Nantinya kapasitor yang akan dipakai harus lebih besar dari 5833  $\mu F$ . Pada rangkaian catu daya ini akan dipakai C1 sebesar 6400  $\mu F$  karena menyesuaikan yang ada di pasaran. Dan kapasitor C2 sebesar 100  $\mu F$  untuk meratakan lagi tegangan dc yang akan masuk ke beban.



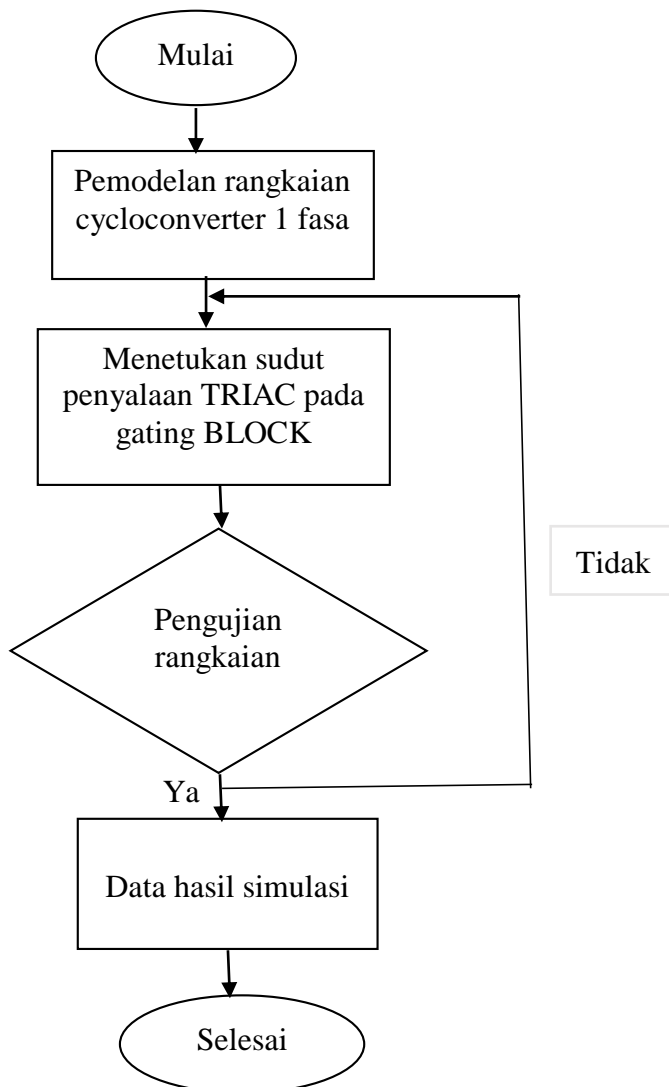
Gambar 4.10 Skematik rangkaian catu daya 12 volts

#### 4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak disini dibagi menjadi 2 yaitu simulasi rangkaian *cycloconverter* dengan PSIM 9.0 dan perancangan program untuk menentukan sudut penyalan TRIAC oleh mikrokontroler.

##### 4.7.1 Simulasi rangkaian *cycloconverter*

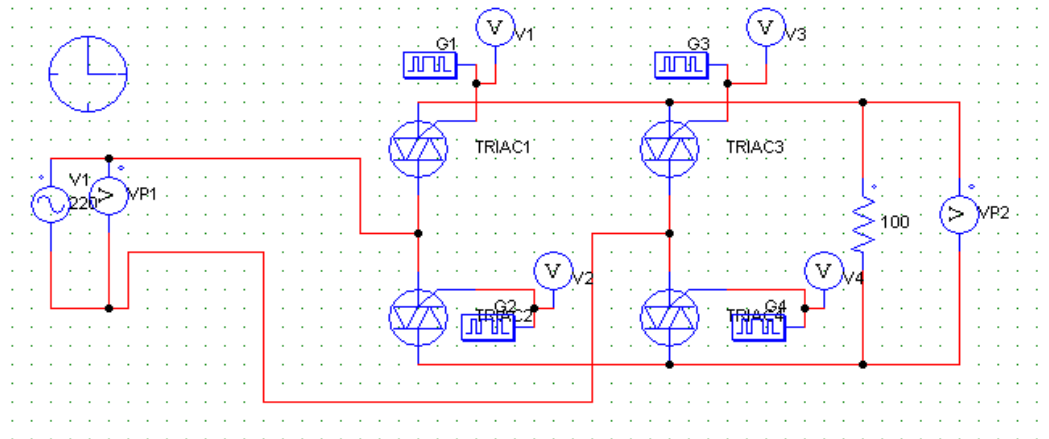
Tahap pertama dalam proses perancangan perangkat lunak *cycloconverter* ini, dilakukan pemodelan rangkaian elektronika daya *cycloconverter* menggunakan program simulasi PSIM (*power simulation*) 9.0.



Gambar 4.11 Diagram alir simulasi rangkaian *cycloconverter*

Hasil dari simulasi berupa bentuk gelombang keluaran *cycloconverter* dan bentuk gelombang pulsa *trigger gate* TRIAC dapat dijadikan acuan dalam menentukan perancangan alat serta algoritma dan program mikrokontroler untuk pengaturan sudut penyalan *gate*

TRIAC. Rangkaian dasar ditunjukkan pada gambar 4.11 yang mempunyai dua pulsa fasa konverter kontrol. Satu grup positif dan satu grup yang lain negatif, yang disebut dengan *dual converter*.



Gambar 4.12 Rangkaian simulasi cycloconverter satu fasa

Tabel 4.2

Titik *trigger* pada *gating block* untuk  $V_{out} f/2$

No	TRIAC	Frekuensi(Hz)	No. Of Point	Switching Point
1	1	25	2	10 30
2	2	25	2	100 120
3	3	25	2	190 210
4	4	25	2	280 300

Tabel 4.3

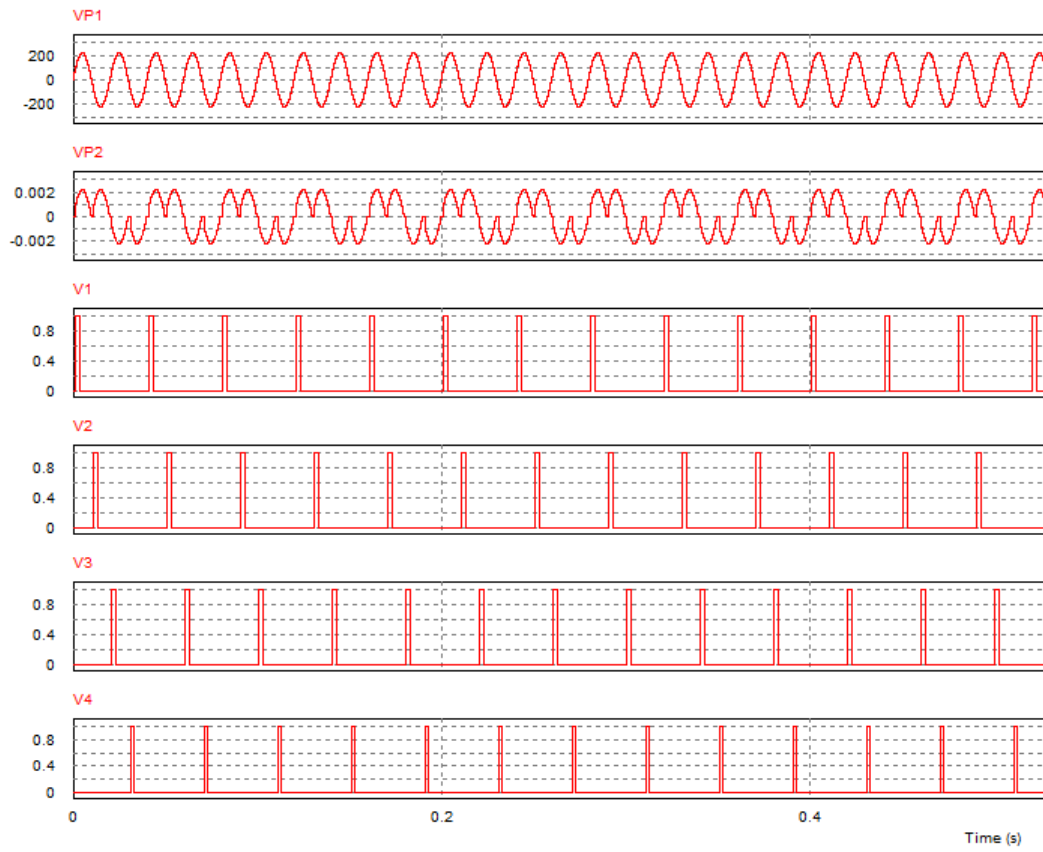
Titik *trigger* pada *gating block* untuk  $V_{out} f/3$

No	TRIAC	Frekuensi(Hz)	No. Of Point	Switching Point
1	1	16.7	4	10 30 130 150
2	2	16.7	2	70 90
3	3	16.7	2	250 270
4	4	16.7	4	190 210 310 330

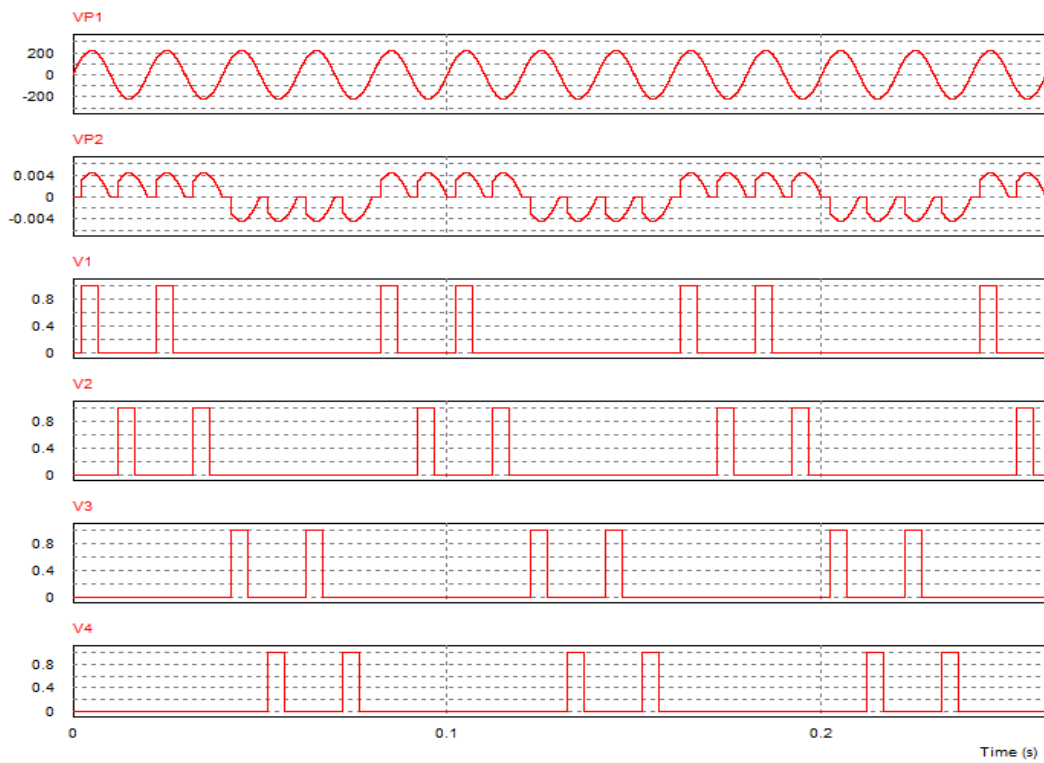
Tabel 4.4

Titik *trigger* pada *gating block* untuk  $V_{out} f/3$

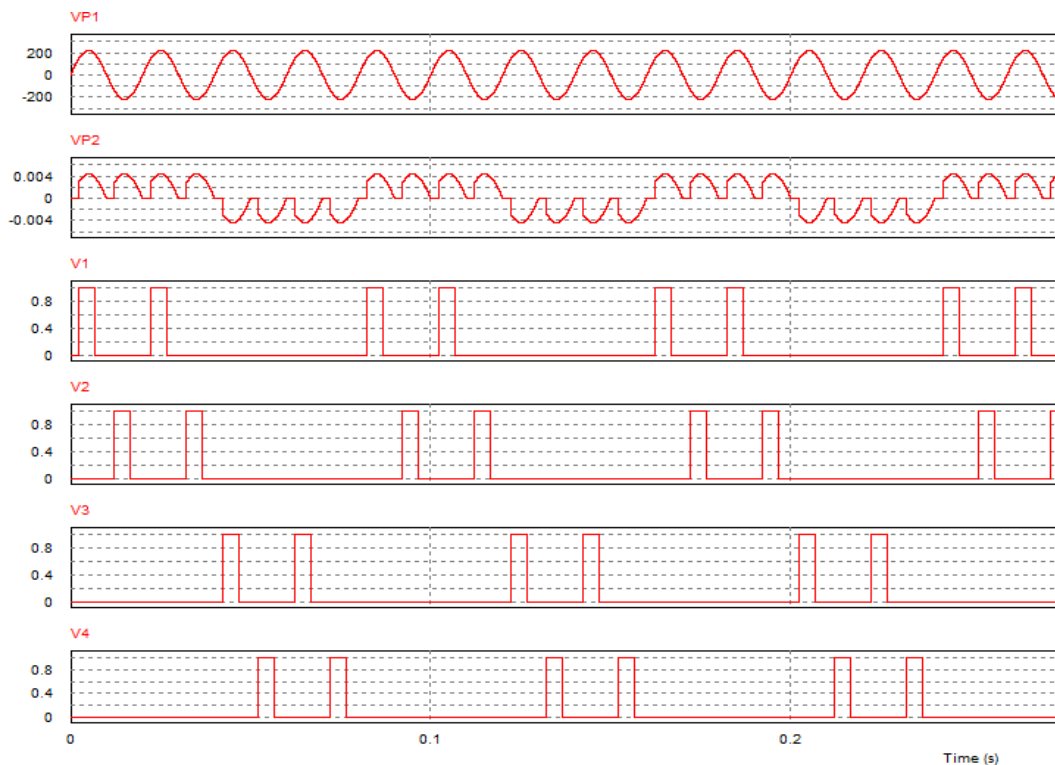
No	TRIAC	Frekuensi(Hz)	No. Of Point	Switching Point
1	1	12.5	4	10 30 100 120
2	2	12.5	4	55 75 145 165
3	3	12.5	4	190 210 280 300
4	4	12.5	4	235 255 325 345



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.13 Hasil simulasi *cycloconverter* dengan PSIM 9.0, (a) 25 Hz, (b) 16.7 Hz, (c) 12.5 Hz.

#### 4.7.2 Penentuan Sudut Penyalaan ( $\alpha$ )

Ketika *cycloconverter* dibebani oleh motor induksi maka arus akan tertinggal terhadap tegangan (*lagging*) sesuai gambar (3.5). Yang menyebabkan terjadi *short circuit* antara TRIAC 1 dengan TRIAC yang lainnya jika sudut penyalannya sama dengan 0. Oleh karena itu, diperlukan penentuan besar sudut penyalan dari sebuah TRIAC yang mana TRIAC tersebut merupakan saklar elektronik yang digunakan pada rangkain *cycloconverter*. Besar sudut penyalan tergantung pada  $\cos \theta$  dari motor induksi yang digunakan. Sesuai hasil pengamatan langsung menggunakan osiloskop pada motor induksi satu fasa yang digunakan pada tugas akhir ini  $\cos \phi$  yang didapat sebesar 0.96 dengan perhitungan:

$$P = V \times I \times \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{P}{V \times I} = \frac{300}{220 \times 1,4} = 0,94$$

Maka,

$$\alpha = \cos^{-1} \theta$$

$$\alpha = \cos^{-1} 0.94 = 20^{\circ}$$

### **4.7.3 Sistem mikrokontroler**

Perancangan perangkat lunak pada tugas akhir ini menggunakan pemrograman bahasa *assembly* dengan mikrokontroler arduino uno ditulis dan di *compile* menggunakan program. Mikrokontroler arduino uno digunakan untuk mengontrol sistem berdasarkan pembacaan data hasil simulasi PSIM. Hasil simulasi program PSIM berupa sinyal pemicuan *gate*. Data hasil simulasi PSIM dan data dari *zero crossing detector* yang langsung dimasukkan ke dalam mikrokontroller kemudian diproses untuk dijadikan acuan dalam pemberian sudut penyalan TRIAC. *Push-button* berfungsi untuk memberikan masukan pilihan program yang berbeda.