

BAB IV PERANCANGAN

Pada bab ini akan diuraikan proses perancangan modul ELC sebagai penstabil frekuensi otomatis. Perancangan sistem ini meliputi perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dan tahap selanjutnya diwujudkan dalam sebuah modul ELC untuk sebagai penstabil frekuensi beban komplemen resistif.

4.1 Kondisi Pembebanan

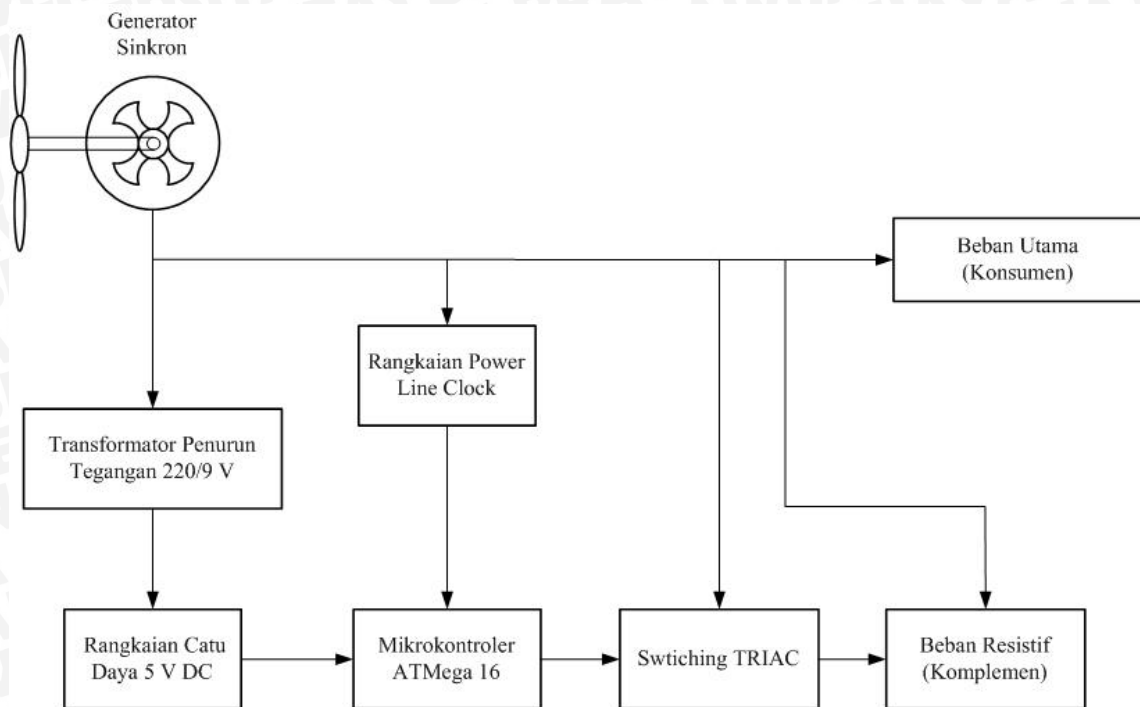
Perancangan ELC pada suatu sistem pembangkitan yang sudah ada, dilakukan pengukuran parameter (tegangan dan frekuensi). Pada perancangan ini dilakukan pada skala laboratorium, kondisi pembebanan diasumsikan dengan nilai – nilai yang menggambarkan kondisi fluktuatif mulai dari beban maksimal yang digunakan konsumen hingga yang terendah.

Pada sistem pembangkitan dengan generator sinkron sebagai sumber dayanya, terjadi fluktuasi penggunaan daya oleh konsumen dalam setiap harinya. Oleh karena itu, diasumsikan perubahan pembebanan generator adalah daya maksimum 1kW dengan resolusi 100 W, terjadi penurunan pemakaian secara linear oleh konsumen di setiap kali waktunya, dibagi menjadi 10 bagian.

Berdasarkan perubahan pemakaian beban pemakaian yang telah diasumsikan, maka dilakukan pengujian pembebanan generator dengan perubahan daya sebesar tiap 100 W dengan beban puncak (*peak load*) sebesar 1000 W. Maka dari itu, mikrokontroler harus mampu mendeteksi perubahan nilai frekuensi pada beban utama sehingga dapat dilakukan penyesuaian pengaturan pada beban komplemen, seberapa besarnya harus diaktifkan, sehingga diharapkan tegangan dan putaran generator tetap konstan.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem dibuat berdasarkan spesifikasi perancangan alat pada bab sebelumnya dan kondisi pembebanan seperti diasumsikan pada sub bab 4.1, sebuah sistem ELC sebagai penstabil frekuensi otomatis untuk beban komplemen resistif, dapat disusun menjadi suatu diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Diagram blok sistem ELC

Keterangan diagram blok sistem ELC sebagai penstabil frekuensi otomatis adalah sebagai berikut:

- 1) Generator sinkron sebagai pembangkit listrik untuk beban utama (*main load*) sekaligus catu daya pada rangkaian ELC.
- 2) Rangkaian *power line clock frequency* sebagai masukan frekuensi line dan beban utama dan menghasilkan nilai yang merepresentasikan nilai frekuensi beban utama ke mikrokontroler.
- 3) Transformator penurun tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan AC 220 V menjadi 9 V sesuai kebutuhan rangkaian modul ELC.
- 4) Rangkaian minimum mikrokontroler untuk menyesuaikan tegangan dari transformator dengan kebutuhan catu daya mikrokontroler sekaligus untuk mengaktifkan fungsi pin mikrokontroler.
- 5) Mikrokontroler ATmega16 sebagai pengolah data masukan tegangan dan frekuensi dari rangkaian *power line frequency* dan melakukan perhitungan internal berupa logika digital sebagai bentuk sinyal pemicuan ke TRIAC.
- 6) TRIAC merupakan komponen pengendali mengalir atau tidaknya arus ke beban komplemen yang jenisnya resistif. Terdapat 4 buah TRIAC untuk 4 step beban komplemen yang nilai totalnya 1kW, sehingga penyusunan diseragamkan menjadi 4 step. Beban komplemen resistif berupa lampu

pijaryang natinya akan menerima arus listrik dari sistem kemudian membuangnya dalam bentuk panas.

4.3 Beban Komplemen

Beban komplemen dirancang untuk menstabilkan nilai tegangan dan frekuensi berdasarkan perubahan nilai tegangan beban utama. Nilai beban komplemen ini mengacu pada perubahan frekuensi beban utama. Perubahan tersebut berdasarkan Persamaan (4.1).

$$f_{generator} = f_{beban} \dots\dots\dots (4.1)$$

Melalui pengujian pembebanan generator (Subbab 5.1), saat generator dibebani beban berupa lampu pijar 100 watt dalam kondisi nominal (tegangan 220 volt, putaran 1500 rpm), terjadi perubahan pada tegangan dan frekuensi seeptri ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

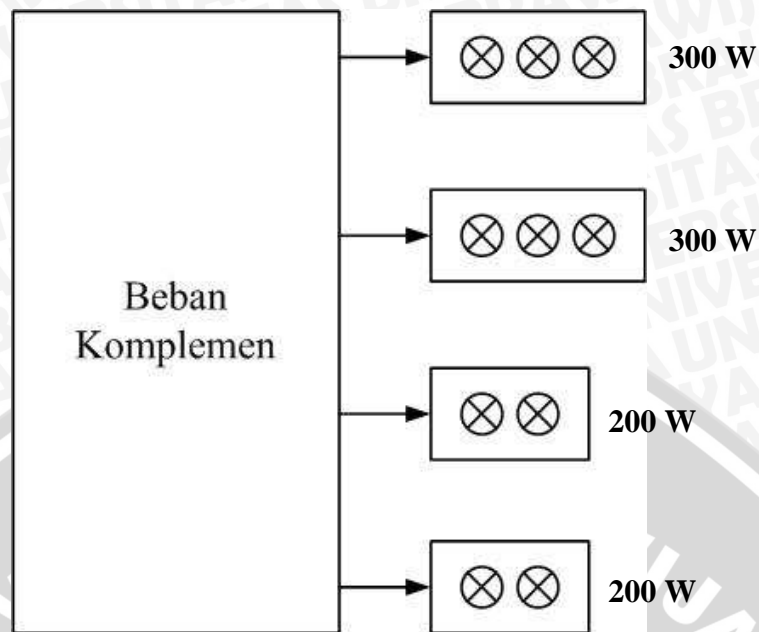
Tabel 4.1 Nilai kenaikan frekuensi beban untuk penambahan lampu pijar

Daya Beban (W)	Tegangan Generator (V)	Frekuensi (Hz)
0	220	51,8
100	218	51,4
200	215	51
300	210	50,6
400	205	50,2
500	200	50,1
600	195	50
700	190	49,8
800	185	49,6
900	180	49,4
1000	175	49,3

Setelah mengetahui kenaikan frekuensi yang terjadi, dan rencana alat maka dirancang 4 buah step beban komplemen resistif sebagai berikut:

1. Beban resistif step 1 berupa 3 buah lampu pijar sebesar 300 W
2. Beban resistif step 2 berupa 3 buah lampu pijar sebesar 300 W
3. Beban resistif step 3 berupa 2 buah lampu pijar sebesar 200 W
4. Beban resistif step 4 berupa 2 buah lampu pijar sebesar 200 W

Disusun sistem beban komplemen berupa beban resistif secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 4.3, disusun berdasarkan pemerataan daya sebesar 1000 W.



Gambar 4.2 Rancangan Beban Komplemen

Data pada Tabel 4.1 menjadi acuan menentukan pola kombinasi beban komplemen (Tabel 4.2) yang akan aktif sesuai dengan penurunan yang terjadi pada beban konsumen. Semakin besar penurunan frekuensi pada beban utama, maka semakin terang nyala lampu pada beban komplemen.

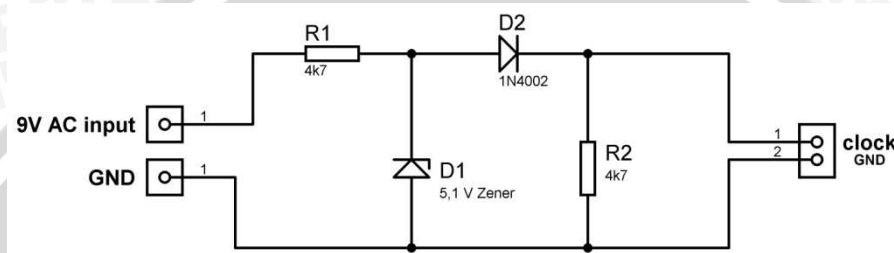
Tabel 4.2 Kombinasi beban komplemen

Pengujian ke-	Daya Beban Utama(W)	Beban Komplemen 1(300 W)	Beban Komplemen 2 (300 W)	Beban Komplemen 3(200 W)	Beban Komplemen 4(200 W)	Total Beban (W)
1	1000	0 W	0 W	0 W	0 W	1000
2	900	25 W	25 W	25 W	25 W	1000
3	800	50 W	50 W	50 W	50 W	1000
4	700	75 W	75 W	75 W	75 W	1000
5	600	100 W	100 W	100 W	100 W	1000
6	500	125 W	125 W	125 W	125 W	1000
7	400	150 W	150 W	150 W	150 W	1000
8	300	175 W	175 W	175 W	175 W	1000
9	200	200 W	200 W	200 W	200 W	1000
10	100	225 W	225 W	225 W	225 W	1000
11	0	250 W	250 W	250 W	250 W	1000

4.4 Perancangan Perangkat Keras Modul ELC

4.4.1 Perancangan Rangkaian *Power Line Clock*

Rangkaian pada Gambar merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengambil frekuensi jala – jala 50Hz. Keluaran rangkaian ini merupakan tegangan $\frac{1}{2}$ gelombang dengan frekuensi 50 Hz untuk masukan mikrokontroler. Diagram rangkaian *power line clock* ditunjukkan pada Gambar 2.6. Persamaan keluaran sebagai fungsi masukan ditunjukkan pada Persamaan (2.7).



Gambar 4.3 Rangkaian *Power Line Clock*
(Sumber: Maxim, 2003)

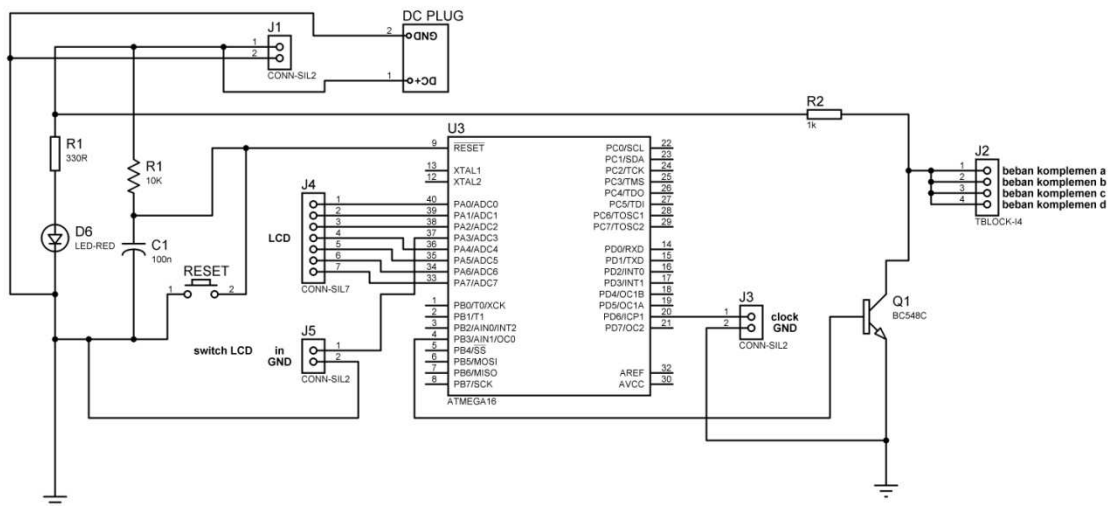
Keluaran rangkaian diambil ketika masukan siklus positif saja, yang persamaannya ditunjukkan pada Persamaan (4.1)

$$\begin{aligned} V_{clock} &= V_{D1} - V_{D2} \dots\dots\dots (4.2) \\ &= 5,1 - 0,7 \\ &= 4,4 \text{ V} \end{aligned}$$

Dengan: V_{clock} : keluaran rangkaian
 V_{D1} : tegangan dioda 1
 V_{D2} : tegangan dioda 2

4.4.2 Perancangan Rangkaian Mikrokontroler

Perancangan perangkat keras modul ELC pada PLTMH untuk beban komplement resistif terdiri atas untuk rangkaian mikrokontrolernya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.4 Rangkaian minimum mikrokontroler ATmega16

Penjelasan rangkaian ELC di atas adalah sebagai berikut. Pengendali utama pada ELC ini adalah mikrokontroler ATmega16. Mikrokontroler ini harus dirangkai dengan beberapa komponen yang menjadi satu dalam rangkaian catu daya yang terpisah dengan rangkaian mikrokontroler agar dapat bekerja:

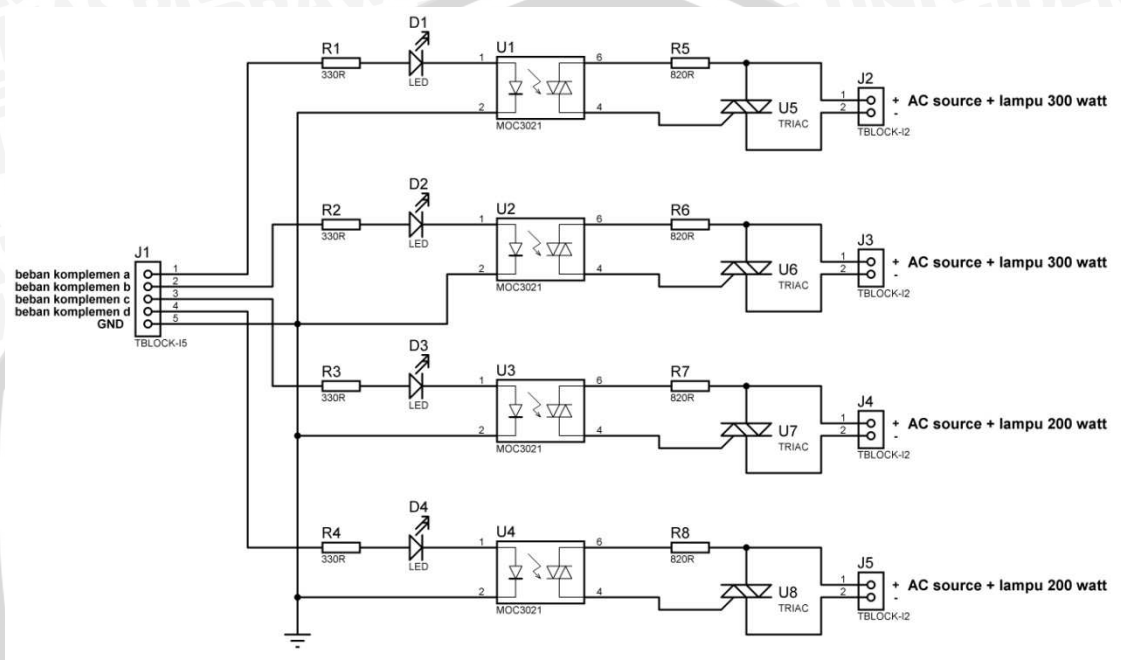
1. Transformator penurun tegangan 220/9 V.
2. Rangkaian diode penyearah gelombang penuh untuk menyearahkan gelombang dari transformator penurun tegangan.
3. *Voltage regulator* LM7805 untuk menurunkan tegangan 9 volt menjadi tegangan 5 volt untuk mikrokontroler.
4. Kapasitor 3300uF, 10uF, dan 100nF untuk meratakan riak tegangan.

Sementara itu, penjelasan dari fungsi pin-pin mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. Pin 11 (GND) adalah pin *ground*.
2. Pin 10 (VCC) adalah pin sumber tegangan.
3. Pin 9 (RESET) adalah pin *reset*. Pin ini terhubung pada sebuah *push button* untuk melakukan *reset* pada program mikrokontroler.
4. Pin 12 dan 13 adalah pin untuk kristal (*external oscillator*)
5. Pin 8 (PB7) adalah pin keluaran untuk pemicuan *gate* TRIAC1 yang terhubung beban komplemen resistif 1
6. Pin 4 (PB7) adalah pin keluaran untuk pemicuan *gate* TRIAC2 yang terhubung beban komplemen resistif 2

7. Pin 7 (PB7) adalah pin keluaran untuk pemicuan *gate* TRIAC3 yang terhubung beban komplemen resistif 3
8. Pin 6 (PB7) adalah pin keluaran untuk pemicuan *gate* TRIAC4 yang terhubung beban komplemen resistif 4

4.4.3 Perancangan Rangkaian *Switching* Beban Komplemen



Gambar 4.5 Rangkaian pemicuan beban komplemen

Di antara pin keluaran mikrokontroler dengan TRIAC terdapat komponen LED dan *optocoupler* MOC3021. LED berfungsi mengindikasikan port keluaran dari mikrokontroler aktif dan memicu *optocoupler*. Untuk menjalankan LED dengan input tegangan 5V, dengan arus *typical* LED sebesar 20mA, diambil tahanan R_1 yang biasa digunakan sebagai pengaman arus LED, bernilai 330 ohm, maka nilai arus keluaran ditunjukkan pada Persamaan (4.3).

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \frac{V_{in}}{R_1} \dots\dots\dots (4.3) \\
 &= \frac{5}{330} \\
 &= 15,15 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Nilai arus 15,15 mA masih dapat menyalakan LED D_1 , kemudian untuk mengaktifkan LED pada *optocoupler* MOC3021 dibutuhkan V_f sebesar 1,15 V, sedangkan V_{in} masukan *optocoupler* MOC3021 bernilai 2,2 V, maka masih mampu

menyalakan LED pada *optocoupler* MOC3021. Pada bagian TRIAC dari *Optocoupler* MOC3021 diperlukan arus yang lebih besar dari arus *holding*-nya yang bernilai 100 μA (*typical*), maksimum nya sebesar 1 A, dan arus gate maksimum bernilai 0,27 A, maka digunakan resistor sebagai penyesuai arus yang nilainya ditunjukkan Persamaan (4.4).

$$\begin{aligned} I_5 &= \frac{V_{AC}}{R_5} \dots\dots\dots(4.4) \\ &= \frac{220}{820} \\ &= 0,27 \text{ A} \end{aligned}$$

Sehingga dapat mengaktifkan TRIAC pada optocoupler dan TRIAC. TRIAC berfungsi untuk memicu *gate* TRIAC sekaligus pemisah antara rangkaian berdaya kecil (mikrokontroler) dengan rangkaian berdaya besar (TRIAC dan beban komplemen).

4.4.4 Penentuan Komponen TRIAC

Kegagalan dalam pengoperasian ELC akibat kerusakan komponen merupakan hal yang harus dihindari. Dalam hal ini, TRIAC yang dipilih harus memiliki *rating* arus dan tegangan di atas arus dan tegangan yang dibutuhkan. Beban lampu resistif yang digunakan memiliki *rating* sebagai berikut:

- arus beban nominal: 0,43 A
- tegangan beban nominal: 220 V

Arus pada saat penyalakan beban yang melalui komponen TRIAC selalu melebihi arus nominal. Tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh TRIAC pada saat *off state* (kondisi mati) dihitung berdasarkan Persamaan (4.5).

$$\begin{aligned} V_{maks} &= \sqrt{2} \times 220 \dots\dots\dots(4.5) \\ &= 311,126 \text{ volt} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan dan estimasi di atas, setelah disesuaikan dengan ketersediaan komponen di pasaran, maka TRIAC yang digunakan adalah BTA12-600B dengan *rating* arus dan tegangan sebesar 12 A dan 600 V.

4.4.5 Perancangan Pengaman terhadap Laju Pertambahan Arus derivatif (di/dt)

Kerusakan TRIAC yang disebabkan oleh di/dt yang tinggi dapat dihindari dengan memasang inductor terhubung seri dengan beban. di/dt adalah tingkat perubahan arus yang mengalir melalui *thyristor* atau TRIAC ketika terjadi perubahan kondisi dari mati (*off state*) ke nyala (*on state*). Dalam perancangan pengaman terhadap laju penambahan arus di/dt harus di bawah spesifikasi di/dt maksimum komponen, hal ini

dapat dilakukan dengan memasang inductor secara seri dengan komponen. Secara pendekatan, di/dt maksimum dapat dihitung melalui Persamaan (4.6) dan (4.7).

$$V = L \cdot di/dt \text{ volt} \dots\dots\dots (4.6)$$

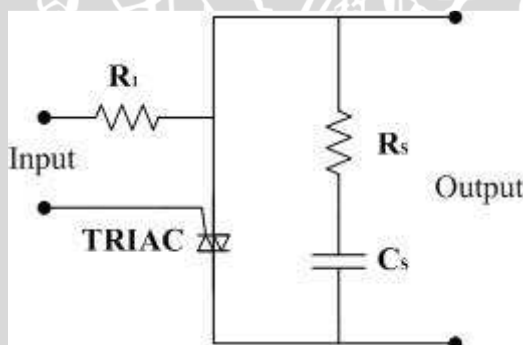
$$di/dt_{maks} = \frac{V}{L} \text{ A/s} \dots\dots\dots (4.7)$$

$$\begin{aligned} di/dt_{maks} &= \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{0,02565} \\ &= 12129,7 \text{ A/s} \\ &= 0,01213 \text{ A/}\mu\text{s} \end{aligned}$$

di/dt maksimum komponen TRIAC pada datasheet sebesar 50 A/ μ s, sehingga **tidak diperlukan** lagi pengaman di/dt .

4.4.5 Perancangan Pengaman Terhadap Laju Pertambahan Tegangan derivatif (dv/dt)

Pengaman terhadap laju kenaikan tegangan dv/dt perlu dilakukan karena jika dv/dt dari TRIAC terlampaui maka TRIAC akan terkonduksi meskipun tidak ada arus *trigger* pada terminal *gate* TRIAC. Pengaruh dv/dt bisa dikurangi dengan menggunakan rangkaian *snubber* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.6 Rangkaian snubber pada ELC
(Sumber: Rashid, 2001: 20)

Setiap TRIAC mempunyai spesifikasi dv/dt maksimumnya yang tertera pada setiap *datasheet* komponen. dv/dt pada *datasheet* TRIAC BTA12-600B tertera sebesar 10V/ μ detik. Perhitungan nilai dari kapasitor *snubber* C_s dan resistor *snubber* R_s adalah berdasarkan Persamaan (4.8) (Fairchild, 2002).

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{dv/dt_{maks}}{v_p \times 2\pi} \dots\dots\dots (4.8) \\ &= \frac{10 \times 10^6}{220\sqrt{2} \times 2\pi} \\ &= 5,1 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Nilai C_s ditentukan dengan perhitungan berdasarkan Persamaan (4.9) dan (4.10).

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (4.9)$$

$$C_s = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \dots\dots\dots (4.10)$$

$$= \frac{1}{(2\pi \times 5,1 \times 10^3)^2 \times 0,02565}$$

$$= 37,96 \times 10^{-9} \text{ F}$$

Nilai dari R_s ditentukan dengan perhitungan berdasarkan Persamaan (4.12).

$$R_s = \sqrt{\frac{L}{C_s}} \dots\dots\dots (4.12)$$

$$= \sqrt{\frac{0,02565}{37,96 \times 10^{-9}}}$$

$$= 822,01 \Omega$$

Berdasarkan perhitungan di atas dan disesuaikan dengan komponen yang ada di pasaran, maka nilai kapasitor dan resistor yang digunakan sebesar $C = 33 \text{ nF}$ dan $R = 820 \Omega$. Rangkaian snubber di atas tidak digunakan pada beban komplemen yang hanya terdiri dari beban resistif saja tetapi tetap digunakan resistor pengaman saja untuk menyesuaikan arus gate puncak TRIAC BTA 12-600B sebesar 4A, digunakan resistor yang besarnya sama dengan resistor dalam Persamaan 4.9 dengan hasil 820 ohm, dengan perhitungan yang ditunjukkan dalam Persamaan (4.13).

$$I_G = \frac{220}{820} \dots\dots\dots (4.13)$$

$$= 0,27 \text{ A}$$

4.5 Perancangan Perangkat Lunak ELC

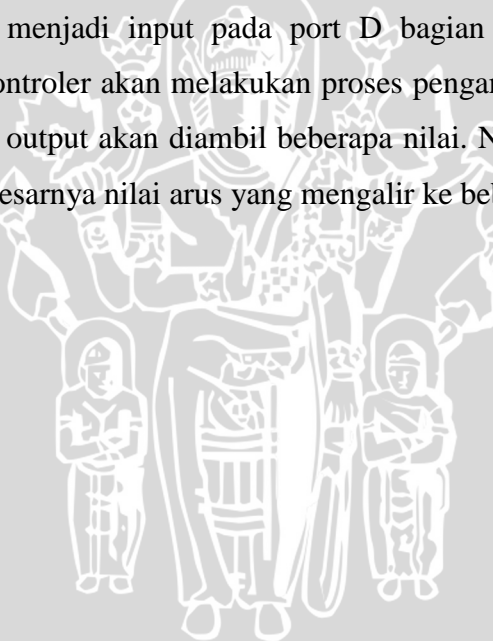
Perancangan perangkat lunak pada skripsi ini berupa pemrograman pada mikrokontroler ATmega16. Program yang ditulis disesuaikan dengan prinsip kerja suatu ELC, yaitu pengalihan daya ke beban komplemen saat terjadi penurunan nilai arus beban utama. Program ini bertujuan agar mikrokontroler mampu menghasilkan sinyal penyalan TRIAC. Selain itu, program juga memuat pencuplikan arus pada beban utama sebagai proses *sensing*.

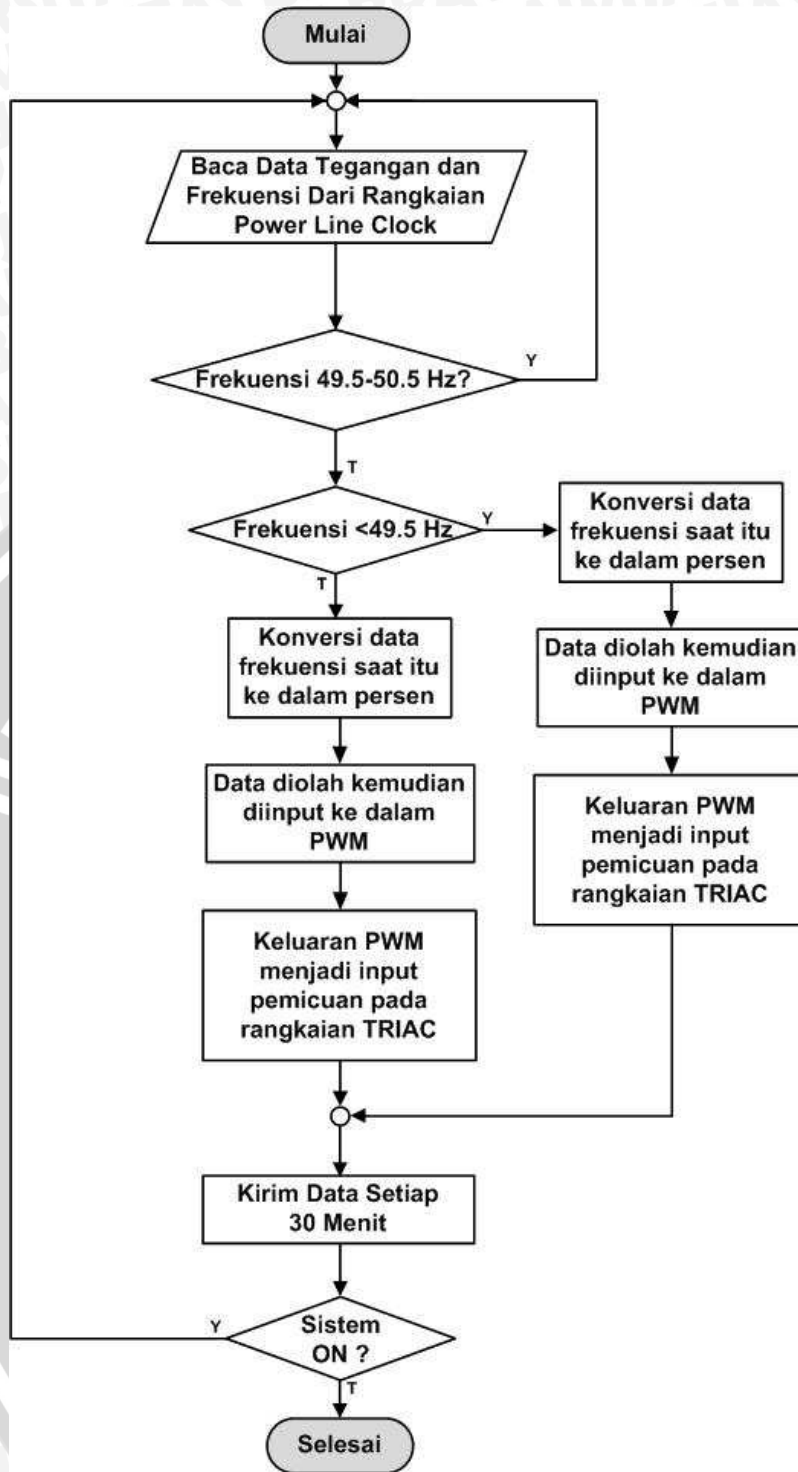
Perangkat lunak yang akan digunakan adalah perangkat lunak untuk pemrograman mikrokontroler ATmega16. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. *Software* yang digunakan untuk proses *writing* dan *compile* program adalah

WinAVR Compiler. Selanjutnya program tersebut ditulis dalam kode heksadesimal pada ATmega16 menggunakan *writer software* MyWrite.

Diagram alir dari program ELC yang ditunjukkan Gambar 4.6 diawali dengan menjalankan program pengambilan sampel arus beban utama. Umpan balik dari sub fungsi pengambilan sampel ini menjadi acuan pemicuan dan pemadaman TRIAC. Jika terdeteksi penurunan frekuensi pada beban utama maka TRIAC akan dipicu. Pemicuan berlangsung terus selama deteksi dari rangkaian power line clock menunjukkan penurunan frekuensi beban utama. Jika tidak maka dilakukan kembali pendeteksian frekuensi pada beban utama.

Pendeteksian nilai arus beban yang dilakukan oleh sensor arus memberikan keluaran berupa gelombang dengan nilai frekuensi yang sama. Nilai kenaikan amplitudo tegangan keluaran sensor mengikuti kenaikan nilai frekuensi yang mengalir pada beban utama. Output rangkaian power line clock berupa tegangan DC setengah gelombang dengan frekuensi 50 Hz menjadi input pada port D bagian ICP1 mikrokontroler. Program di dalam mikrokontroler akan melakukan proses pengambilan sampel setiap 2 *milisecond* (ms), tegangan output akan diambil beberapa nilai. Nilai hasil pengambilan kemudian menjadi acuan besarnya nilai arus yang mengalir ke beban utama.





Gambar 4.7 Diagram alir ELC