

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

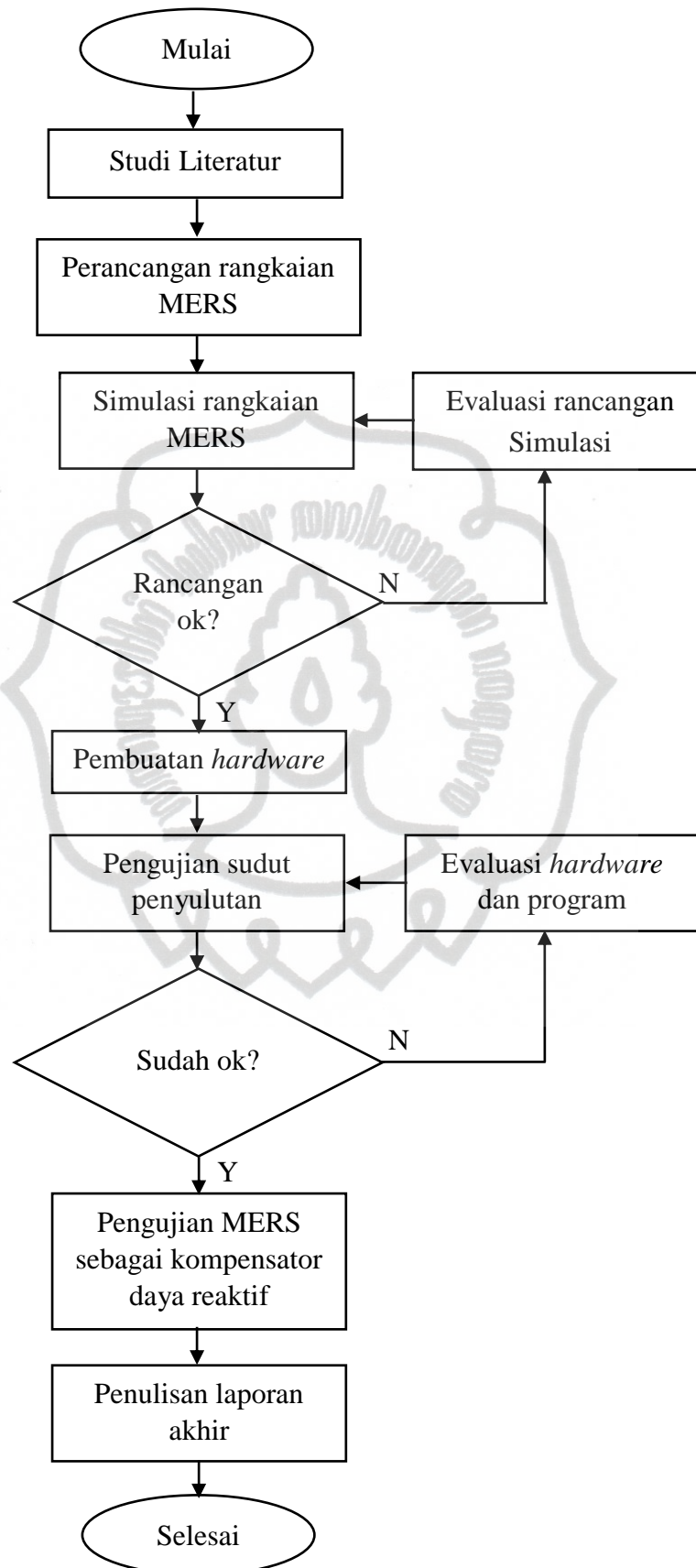
3.1 Jalannya Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi pustaka untuk memahami prinsip kerja dan cara pembuatan MERS. Referensi yang digunakan berupa, *paper*, *datasheet*, laporan penelitian dengan topik sejenis dan buku. Mempelajari membuat program juga termasuk pada bagian ini.

Setelah pengetahuan dasar dipahami, penelitian dilanjutkan dengan pembuatan simulasi. *Software* yang digunakan untuk merancang simulasi ini adalah PSim 9.0.3. Setelah simulasi berjalan dengan baik sesuai yang diinginkan tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat MERS. Pembuatan perangkat ini terbagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak (*program*). Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.

Pembuatan perangkat keras meliputi perancangan sistem kendali utama, rangkaian *zero cross detection*, rangkaian penggerak, dan rangkaian MERS. Sedangkan, perancangan perangkat lunak meliputi prakondisi, konversi sudut menjadi waktu, dan *external interrupt routine*.

Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian secara keseluruhan, mulai dari pengujian simulasi, pengujian perangkat MERS, pengujian monitoring daya, dan pengujian MERS sebagai kompensator daya reaktif. Evaluasi pun dilakukan hingga rangkaian dapat beroperasi dengan optimal. Setelah itu rangkaian MERS dipasang sebagai kompensator seri pada motor induksi satu fasa $\frac{1}{4}$ HP dan dilihat pengaruhnya terhadap faktor daya dan penggunaan energi pada motor tersebut. Penelitian diakhiri dengan penulisan laporan penelitian sesuai data yang telah didapat.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Simulasi MERS

Sebelum melakukan pembuatan perangkat, perlu dilakukan simulasi untuk memastikan nilai kapasitor yang akan dipasang pada perangkat MERS. Sebelum dilakukan simulasi parameter beban harus diketahui, dalam hal ini adalah motor induksi 1 fasa ¼ HP. Cara mengetahui parameter beban adalah dengan melakukan pengujian langsung. Dari hasil pengujian diperoleh data seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter objek penelitian

Parameter	Nilai
Tegangan motor	221 V
Arus	0.87 A
Daya	136.5 W
PF	0.70
Resistansi	180.34 Ω
Induktansi	0.58 H

Tegangan motor, arus, daya dan PF diperoleh dari pengukuran terhadap objek penelitian. Kecepatan diketahui melalui spesifikasi motor listrik. Sedangkan resistansi dan induktansi diperoleh dari perhitungan melalui data-data yang sudah diketahui. Nilai resistansi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1.

$$R = \frac{p}{I^2} \quad (3.1)$$

Sedangkan nilai induktansi didapat dengan menggunakan persamaan.

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (3.2)$$

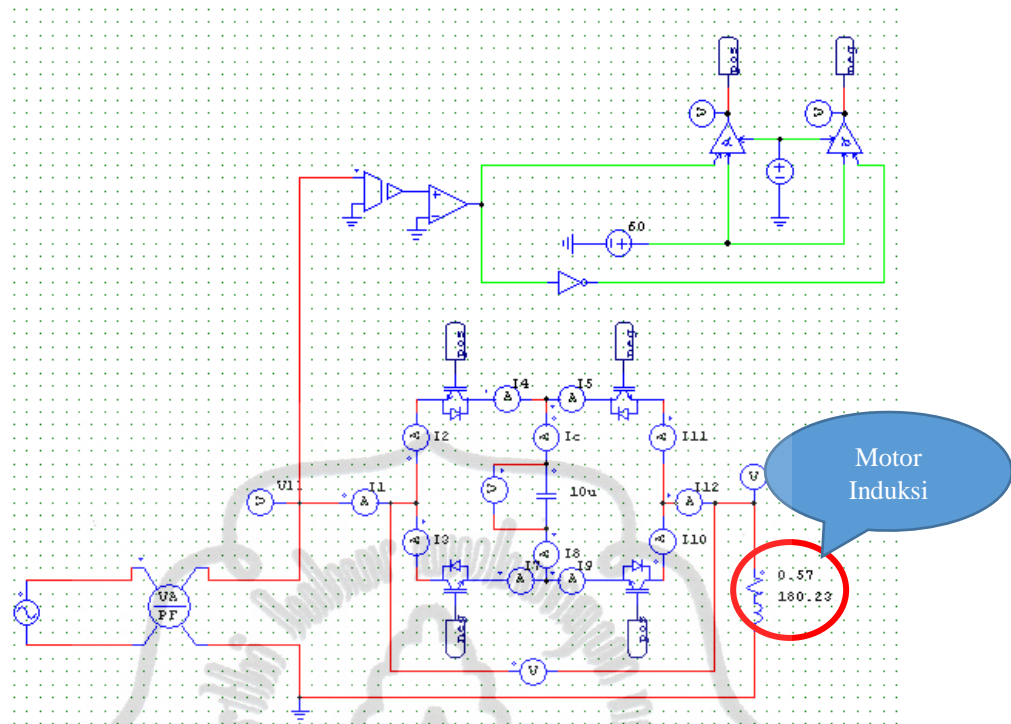
Dengan X_L adalah

$$X_L = \frac{Q}{I^2} \quad (3.3)$$

Dan Q adalah

$$Q = \sqrt{\left(\frac{P}{pf}\right)^2 - P^2} \quad (3.4)$$

Kemudian data resistansi dan induktansi dimasukkan sebagai parameter beban di *software* PSIM 9.0.3.



Gambar 3.2 Rangkaian skematik simulasi menggunakan *software* PSIM

Setelah dilakukan simulasi didapatkan nilai kapasitansi yang cocok untuk perancangan ini adalah $7.67\mu\text{F}$. Nilai ini dipilih sebab dengan menggunakan kapasitor $7.67\mu\text{F}$ (mode *balance*) akan diperoleh tegangan beban dan tegangan kapasitor masing-masing sebesar 192 V dan 308 V. Dengan pengaturan sudut penyulutan tegangan beban dapat ditingkatkan menjadi 230 V dengan tegangan kapasitor sebesar 310 V (mode *discontinuous*).

3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam merancang, membuat dan menguji kompensator seri MERS adalah sebagai berikut:

1. Osiloskop
2. Multimeter KRISBOW KW06-267
3. Perangkat lunak Arduino, PSIM 9, PROTEUS Version 8.0
4. Perkakas: bor listrik, tang potong, tang jepit, obeng, gergaji, solder.

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat dan menguji kompensator seri MERS adalah sebagai berikut:

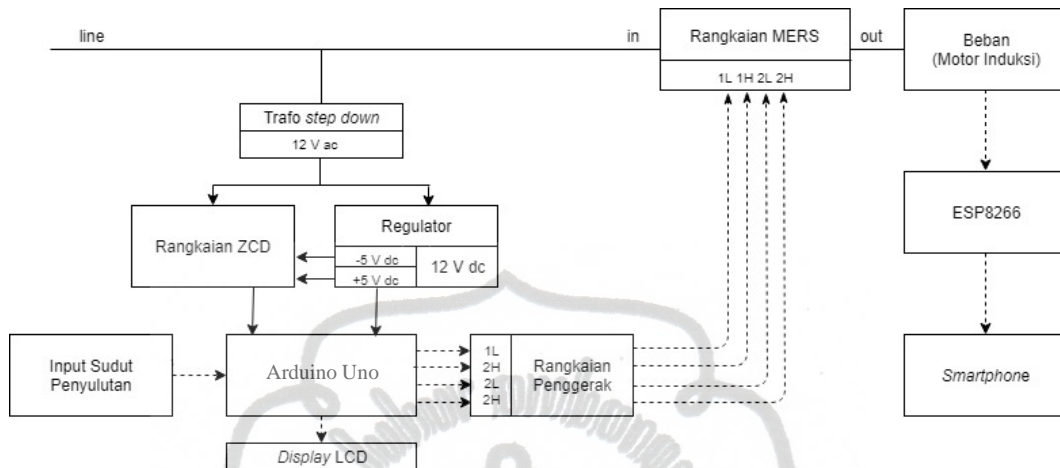
Tabel 3.2 Bahan-bahan yang digunakan

No.	Bahan	Jumlah
1.	Arduino UNO	1
2.	MOSFET IRF840	4
3.	IC IR2110	2
4.	IC TL082	1
5.	Transformator CT 1A	1
6.	ESP 8240	1
7.	Fuse 2A	1
8.	Motor Induksi ¼ HP	1
9.	PCB	4
10.	Diode 1N4007	7
11.	IC regulator LM7805, LM7812, LM7809	1
12.	Resistor 1k Ω ; 10k Ω ; 5.6 Ω	13
13.	Kapasitor 10uF/450V, 33uF/450V, 470uF/25V	1
14.	ESP 8266	1
15.	PZEM 004T	1

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.3. Rangkaian *zero cross detection* digunakan untuk mendeteksi titik persilangan nol pada tegangan *grid* dan menjadikannya sebagai titik acuan terhadap sudut penyulutan saklar semikonduktor (α). Saklar semikonduktor pada MERS dikendalikan oleh sinyal keluaran mikrokontroler arduino uno melalui rangkaian penggerak. Sudut penyulutan dapat diatur secara manual dan menjadi sinyal masukan bagi mikrokontroler dan ditampilkan pada LCD sebagai tampilan atas pengaturan sudut penyulutan. Kemudian modul power meter mendeteksi tegangan, arus, daya dan *power factor*.

Pada sub-bab berikut akan dijelaskan masing-masing komponen perangkat keras yang menyusun sistem MERS di penelitian ini, antara lain: sistem kendali utama, rangkaian ZCD, rangkaian penggerak, rangkaian MERS dan power meter.

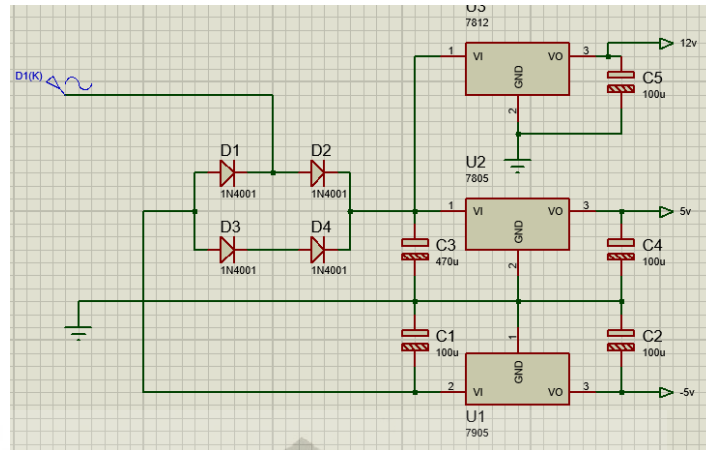


Gambar 3.3 Diagram blok keseluruhan sistem.

3.4.1 Sistem Kendali Utama

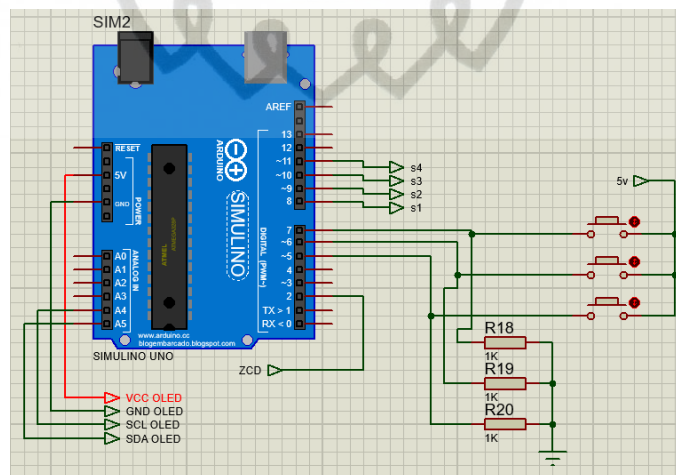
Sistem kendali utama ini memiliki masukan dari ZCD dan tombol pengaturan sudut penyulutan. Keluaran dari sistem kendali ini adalah empat buah sinyal output yang diumpankan ke rangkaian penggerak dan LCD.

Sistem kendali ini mendapatkan catu daya dari transformator *step-down* 220 V ke 12 V. Tegangan ac 12 V kemudian disearahkan menggunakan empat buah diode 1N4007 yang disusun menjadi *bridge rectifier*. Kemudian dihaluskan dengan *smoothing capacitor* sebesar 100uF/16V. Bila referensinya adalah CT trafo maka besar tegangan dibagi dua. Kemudian tegangan tersebut diturunkan menjadi 12 V dan 5 V menggunakan IC *regulator* LM7812 dan LM7805. Tegangan 12 V adalah tegangan masukan untuk rangkaian penggerak, sedangkan tegangan 5 V untuk suplai arduino uno.



Gambar 3.4 Rangkaian skematik catu daya

Mikrokontroler arduino uno digunakan sebagai pengendali utama pada sistem ini. Alasan dipilihnya arduino uno karena sistem yang dibangun untuk pengendalian MERS tidak membutuhkan komputasi yang berat, dan tidak membutuhkan port yang banyak. Rangkaian ZCD adalah input dari sistem yang dirancang tersebut. Setelah menerima input dari rangkaian ZCD kemudian arduino uno akan mengeluarkan sinyal keluaran berupa *high* dan *low* untuk diumpankan ke rangkaian penggerak dengan tambahan tunda waktu. Tunda waktu ini menggambarkan pergeseran sudut penyulutan dan akan ditampilkan melalui OLED LCD.

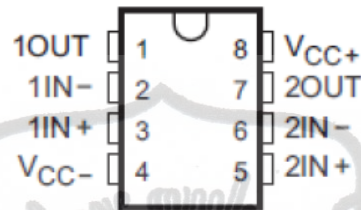


Gambar 3.5 Rangkaian skematik sistem kendali utama

3.4.2 Rangkaian Zero Cross Detection (ZCD)

ZCD berfungsi sebagai pendeteksi persilangan nol pada tegangan *grid*. Ini digunakan sebagai titik acuan sudut penyulutan (α) MOSFET. ZCD menjadi masukan *external interrupt* mikrokontroler. Apabila ZCD gagal mendeteksi

persilangan nol maka akan berpengaruh besar terhadap kinerja MERS secara keseluruhan. Hal ini disebabkan mikrokontroler menerima sinyal input yang salah sehingga mikrokontroler mengeluarkan sinyal keluaran yang salah pula ke rangkaian penggerak. Sehingga kapasitor MERS tidak akan mengalami *charging* dan *discharging* secara optimal dan besar daya reaktif yang dihasilkan menjadi tidak tepat.

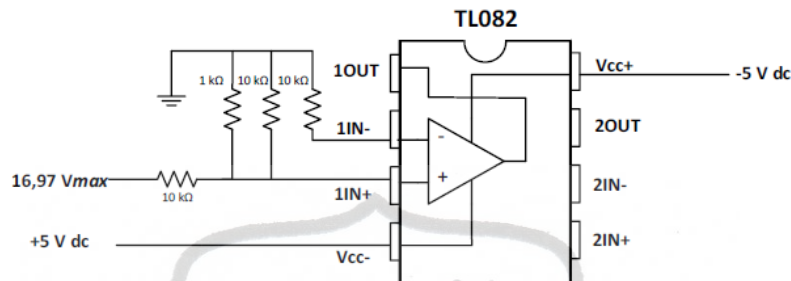


Gambar 3.6 Pin IC TL082

Penelitian ini menggunakan IC TL082 sebagai pendeteksi nol. Konfigurasi pin IC TL082 dapat dilihat pada gambar 3.6. Satu buah IC memiliki dua buah pasang input dan dua buah output. Karena hanya satu sinyal yang ingin dideteksi hanya persilangan nolnya, yakni tegangan *grid*, maka pin 5, 6 dan 7 tidak terpakai. IC TL082 pada dasarnya adalah *op-amp dual supply*. Sistem ini dirancang menggunakan tegangan sebesar V_{cc+} sebesar +5 V dan V_{cc-} sebesar -5 V. Tegangan +5 V diperoleh dari IC *regulator* LM9805, sedangkan tegangan -5 V diperoleh dari IC *regulator* LM7905.

Deteksi persilangan nol dilakukan dengan mengaplikasikan IC TL082 sebagai komparator. Rangkaian komparator akan membandingkan dua buah tegangan masukan dan menghasilkan sinyal digital dan keluarannya. Bila tegangan dimasukan *non-inverting* (IN+) lebih besar daripada tegangan dimasukan *inverting* (IN-) maka keluarannya adalah sinyal *high*. Sebaliknya, apabila IN+ lebih kecil daripada IN- maka keluarannya akan *low*. Untuk dapat mendeteksi persilangan nol, pin IN+ diberi masukan tegangan *grid* dan pin IN- diberi masukan *ground*. Akan tetapi, tegangan *grid* tidak dapat langsung dihubungkan ke pin IN+ karena batas maksimum tegangan masukan IC TL082 adalah 15 V. Pertimbangan lainnya adalah tegangan masukan IC TL082 tidak boleh melebihi tegangan V_{cc+} dan V_{cc-} , yakni +5 V dan -5V.

Tegangan *grid* yang sudah diturunkan tegangannya melalui trafo CT menjadi 12 V_{rms} melebihi tegangan $V_{\text{cc}+}$ dan $V_{\text{cc}-}$, sehingga perlu ditambahkan rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian skematik pembagi tegangan dan komparator menggunakan IC TL082 ditunjukkan oleh gambar.

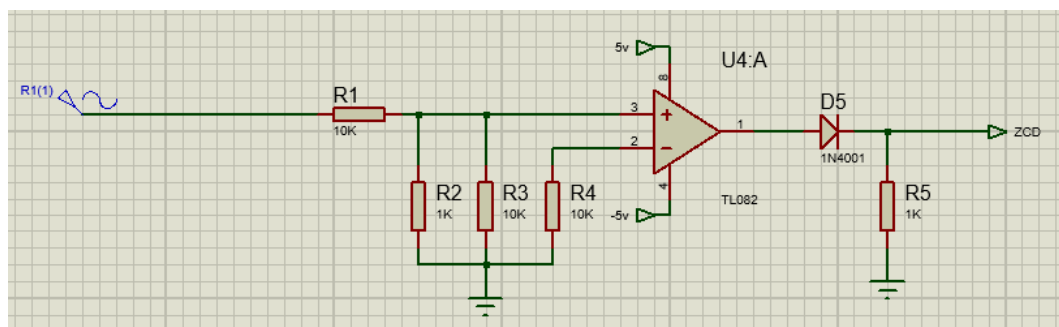


Gambar 3.7 Rangkaian skematik pembagi tegangan dan komparator.

Setelah melalui pembagi tegangan yang masuk ke pin $IN+$ adalah

$$V_{IN+} = \frac{\frac{1 \times 10}{1 + 10}}{\frac{1 \times 10}{1 + 10} + 10} \times 12\text{ V} = \frac{0,91}{10,91} \times 12\text{ V} = 1\text{ V}$$

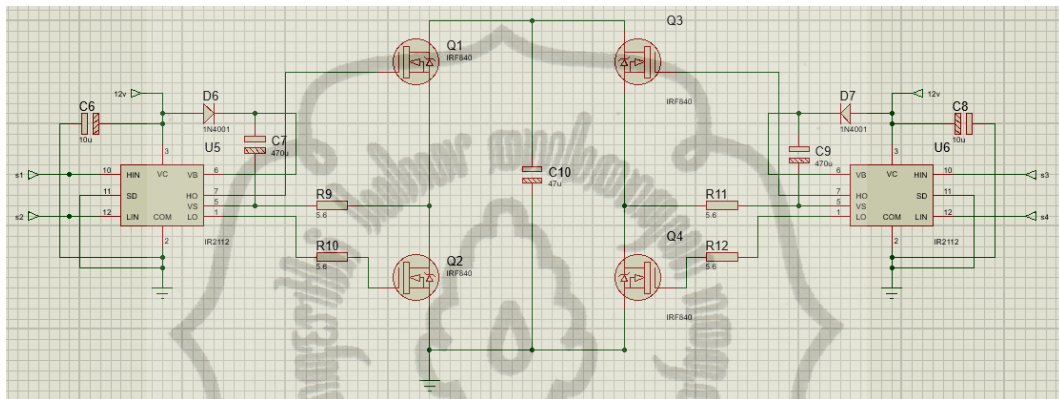
Ketika tegangan *grid* berada di siklus positif, masukan $IN+$ lebih besar dari $IN-$ dan *op-amp* mengeluarkan sinyal high sebesar +5 V. Apabila terjadi sebaliknya maka *op-amp* mengeluarkan sinyal low sebesar -5 V. Sinyal keluaran ini kemudian diserahkan menggunakan diode sehingga sinyal keluaran *op-amp* menjadi +5 V untuk *high* dan 0 V untuk *low*. Titik persilangan nol pada transisi dari siklus positif ke negative ditandai dengan *falling edge* (perubahan dari *high* ke *low*). Sedangkan pada transisi dari siklus negative ke positif ditandai oleh *rising edge* (perubahan dari *low* ke *high*). Sinyal keluaran ini merupakan sinyal digital yang dapat langsung diumpankan sebagai masukan mikrokontroler.



Gambar 3.8 Rangkaian Skematik Zero Cross Detection

3.4.3 Rangkaian Penggerak

Rangkaian penggerak menggunakan IC IR2110 sebagai driver untuk saklar semikonduktor. IC IR2110 dapat mengendalikan sklar semikonduktor dari dua sisi, yaitu dari sisi atas dan sisi bawah. Pada konfigurasi *full-bridge* pada MERS membutuhkan dua buah IC IR2110 untuk mengendalikan keempat saklar semikonduktornya.



Gambar 3.9 Rangkaian penggerak untuk *full-bridge* MERS.

Seperti yang sudah dijelaskan pada sub-bab 2.7, IC IR2110 berfungsi untuk menyediakan *floating supply* bagi saklar di sisi atas dengan menggunakan kapasitor *bootstrap*. Kapasitor ini dipasang pada pin V_B dan V_S IC IR2110. Besar kapasitor yang digunakan adalah 470 μF .

Dioda diperlukan agar kapasitor *bootstrap* dapat terisi muatan electron dari V_{CC} . Frekuensi penyaklaran sangat mempengaruhi pemulihan diode ini. Pada sistem yang menggunakan frekuensi tinggi, diode yang dipasang juga harus mampu beroperasi pada frekuensi *grid* 50 Hz dan tegangan ac 311 V_{max} . Untuk menjamin keamanan rangkaian penggerak, khususnya IC IR2110 dari tegangan kapasitor MERS digunakan dioda 1N4007 yang memiliki *peak repetitive reverse voltage* sebesar 1000 V.

Hal penting lain yang perlu diperhatikan dalam perancangan rangkaian penggerak ini adalah pemilihan resistor seri. Resistor seri bertujuan untuk memperkecil *ringing* tegangan pada sinyal menuju *gate* MOSFET. *ringing* berupa *spike* tegangan terjadi ketika transisi dari *high* ke *low* maupun sebaliknya. Cara lain untuk mengurangi *ringing* tegangan ini adalah dengan memuntir kabel konektor

menuju *gate* MOSFET. *Peak spike* tegangan *gate* ke *source* harus dibawah 20 V agar MOSFET dapat beroperasi dengan baik dan umurnya lebih panjang. Jika pemilihan nilai resistan seri ini terlalu kecil maka MOSFET akan mengalami *puncture* sehingga MOSFET cepat rusak. Resistor seri yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 47 Ω .

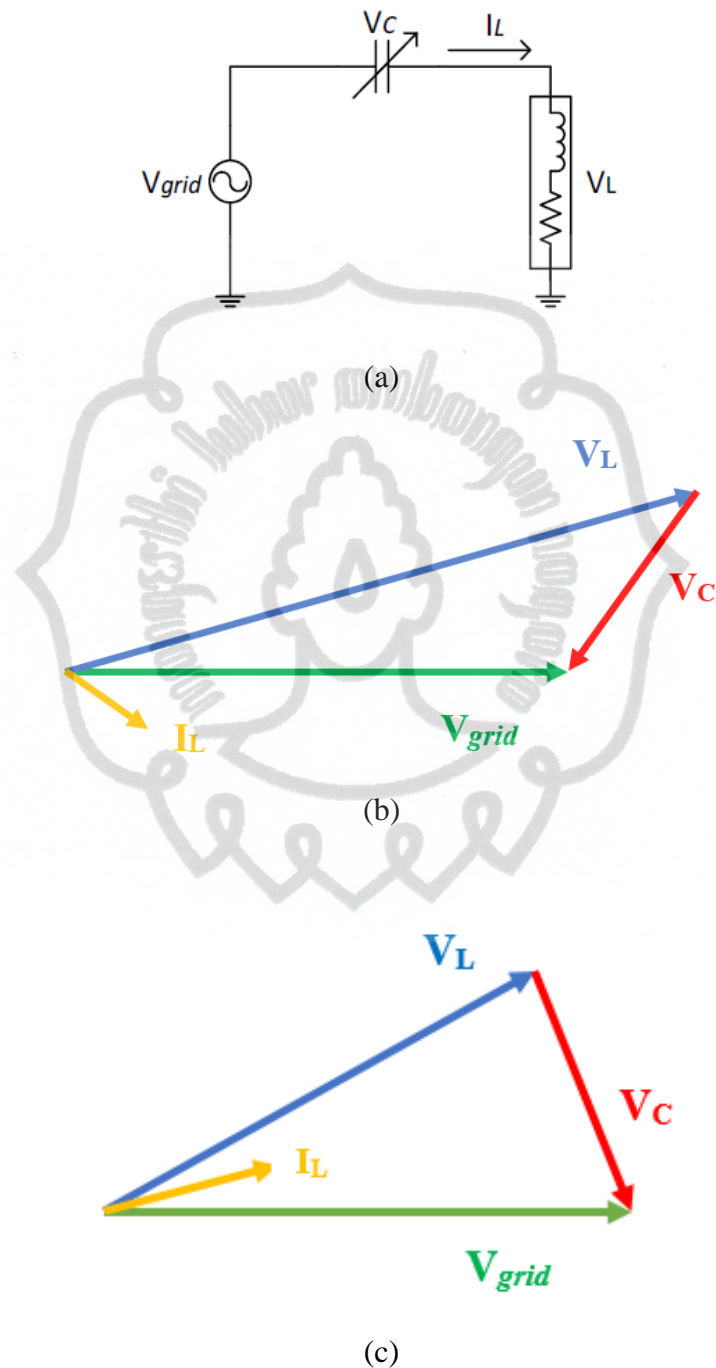
3.4.4 Rangkaian MERS

Rangkaian MERS terdiri dari empat saklar semikonduktor (MOSFET atau IGBT) dan satu buah kapasitor yang dirangkai secara *full-bridge*. Frekuensi operasi MERS sama seperti frekuensi saluran, yakni 50 Hz. Saklar semikonduktor yang digunakan pada sistem ini adalah MOSFET, walaupun sebenarnya MOSFET biasa digunakan dalam sistem dengan frekuensi tinggi. Jenis saklar semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu IGBT. IGBT memiliki frekuensi operasi lebih rendah dari MOSFET dan mampu menahan tegangan hingga lebih dari 1 kV. Akan tetapi, atas pertimbangan faktor biaya dan kesediaan, IGBT tidak dipilih pada perancangan sistem ini.

MOSFET yang dipilih harus tahan terhadap arus yang besar. Oleh sebab itu, perancangan ini menggunakan IRF840 yang dapat mengalirkan arus sebesar 8 A secara kontinyu dan mampu menahan 500 V. MOSFET dengan *rating* yang lebih besar sengaja dipilih agar alat yang dirancang mampu diaplikasikan pada beban dengan jumlah yang lebih banyak.

Pada kompensator seri penentuan besar kapasitans kapasitor harus dipilih secara hati-hati agar tegangan yang diinjeksikan ke beban tidak melampaui batas kemampuannya. Pada beban induktif, semakin kecil kapasitans kapasitor membuat impedans beban berkurang sehingga arus yang mengalir pada rangkaian semakin besar. Akibatnya tegangan kapasitor dan tegangan beban semakin besar. Selain itu, seiring dengan makin besarnya arus yang mengalir membuat sifat induktif rangkaian semakin berkurang sehingga faktor daya semakin tinggi. Bila kapasitans kapasitor semakin diperkecil, maka sifat rangkaian berubah menjadi kapasitif dengan nilai impedans yang semakin besar. Akibatnya arus yang mengalir berkurang dan tegangan kapasitor juga ikut berkurang sehingga tegangan beban berkurang. Pada kondisi ini faktor daya semakin rendah. Penjelasan dapat dilihat pada gambar 3.10 Hal yang perlu dipertimbangkan selain tegangan beban adalah

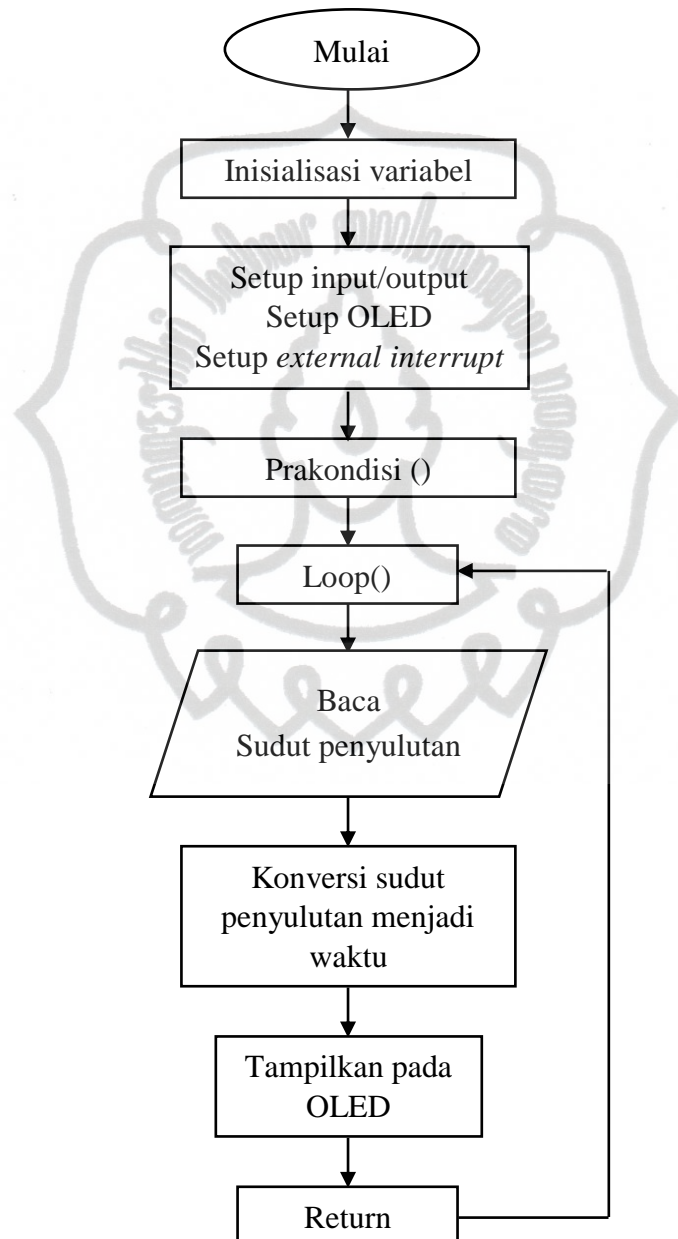
tegangan kapasitor itu sendiri. Nilai kapasitans yang dipilih hendaknya menghasilkan tegangan kapasitor yang tidak melebihi nilai rating-nya ketika dipasang pada rangkaian.



Gambar 3.10 (a) Rangkaian kompensator seri, (b) diagram fasor saat rangkaian bersifat induktif, (c) diagram fasor saat rangkaian bersifat kapasitif [17]

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak atau program meliputi semua proses yang dilakukan mikrokontroler dalam menjalankan pengendalian penyaklaran MOSFET. MERS bekerja dengan cara mengatur sudut penyulutan agar didapatkan nilai kapasitans yang variable. Mikrokontroler mendapat masukan dari keluaran rangkaian ZCD. Pendeteksian ini dilakukan dengan fasilitas *external interrupt*.



Gambar 3.11 Diagram alir program utama.

Besar sudut penyulutan dapat diatur dengan menggunakan *push button*. *Push button* digunakan karena dirasa lebih akurat dibandingkan dengan potensiometer.

Kemudian sudut penyulutan serta konversi menjadi waktunya ditampilkan dalam OLED.

3.5.1 Prakondisi

Ketika motor mengalami *start-up*, arus yang besar akan mengalir pada rangkaian. Agar tegangan kapasitor pada perangkat MERS tidak melonjak tinggi maka MERS harus dibuat dalam kondisi *by pass*. Prakondisi dilakukan dengan cara memberikan sinyal *high* ke semua *gate* saklar semikonduktor secara bersamaan selama 2 detik hingga kondisi *start-up* motor induksi selesai [17].

3.5.2 Konversi Sudut Penyulutan menjadi Waktu

Pengaturan sudut penyulutan dilakukan dengan *push button*. Pergeseran sudut dikonversikan menjadi waktu tunda sesuai besar sudut penyulutan yang diinginkan. Hasil konversi ini akan dijadikan delay sebelum mengaktifkan saklar semikonduktor. Sudut penyulutan dikonversi menggunakan persamaan berikut.

$$\theta = 2\pi ft$$

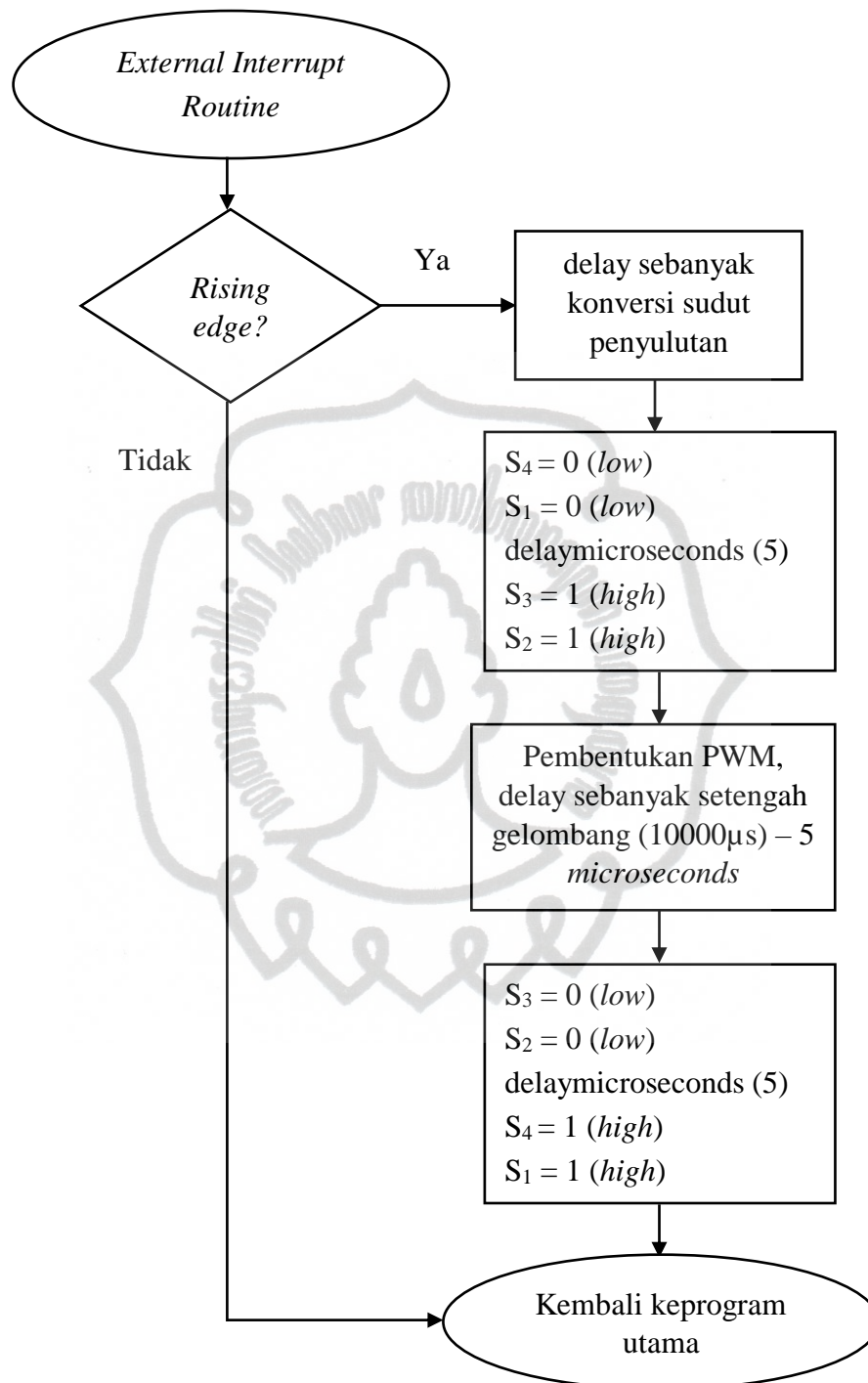
$$t = \frac{\theta}{2\pi f}$$

Dengan frekuensi *grid* $f = 50$ Hz, maka

$$t = \theta \times 0.0000556 \text{ (second)}$$

3.5.3 External Interrupt Routine

External interrupt digunakan untuk mendeteksi *rising edge* dari keluaran ZCD. *Rising edge* merupakan representasi ZCD yang mengeluarkan sinyal dari *low* ke *high*. *Rising edge* ini dimanfaatkan sebagai titik acuan memberikan sudut penyulutan. Karena, sudut penyulutan merupakan selisih dari persilangan nol tegangan *grid* dengan waktu mulai saklar semikonduktor. Agar lebih jelas dapat dilihat pada diagram alir berikut.

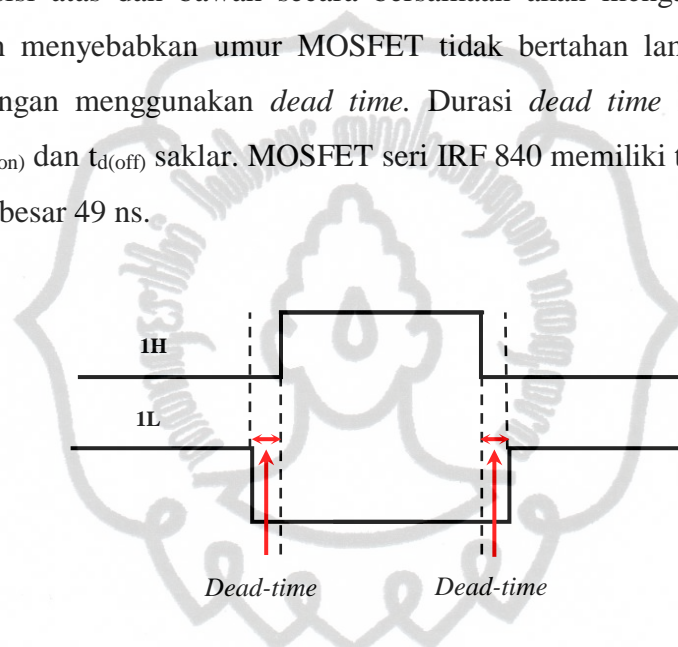


Gambar 3.12 Diagram alir *External Interrupt Routine*

Terdapat dua buah fasilitas *external interrupt* pada arduino uno, yaitu *port 2* (INT 0) dan *port 3* (INT 1). Penelitian ini menggunakan INT 0 yang diaktifkan dengan menggunakan kondisi *rising edge* dari masukan sinyal ZCD. Ketika arduino uno

merasakan *rising edge* pada sinyal ZCD, program utama akan dihentikan dan langsung menjalankan program yang ada di dalam *external interrupt routine*.

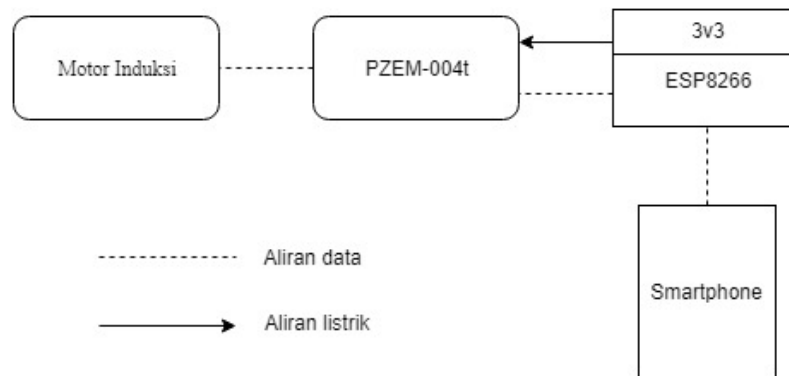
Pada *external interrupt routine* terdapat beberapa delay selama 5 μs , ini bertujuan untuk memberikan *dead time*. *Dead time* merupakan waktu tunda penyaklaran sisi atas dan sisi bawah. MOSFET tidak dapat mengalami *ON* ke *OFF* atau sebaliknya secara instan, ada tunda waktu yang disebut dengan *turn off delay time* ($t_{d(\text{off})}$) dan *turn on delay time* ($t_{d(\text{on})}$). Perubahan dari *ON* dan *OFF* pada MOSFET sisi atas dan bawah secara bersamaan akan mengakibatkan hubungan singkat dan menyebabkan umur MOSFET tidak bertahan lama. Hal ini dapat dicegah dengan menggunakan *dead time*. Durasi *dead time* harus lebih besar daripada $t_{d(\text{on})}$ dan $t_{d(\text{off})}$ saklar. MOSFET seri IRF 840 memiliki $t_{d(\text{on})}$ sebesar 14 ns dan $t_{d(\text{off})}$ sebesar 49 ns.



Gambar 3.13 Penyisipan *dead-time* pada sinyal sisi atas dan sisi bawah

3.6 Perancangan Monitoring Daya

Perancangan monitoring daya meliputi semua proses yang dilakukan sensor PZEM-004t untuk mendeteksi tegangan, arus, faktor daya, dan daya aktif yang berada pada beban. Setelah dideteksi, kemudian data dikirim oleh sensor sebagai masukan ESP. diagram blok dapat dilihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Diagram blok monitoring daya

Setelah data diterima oleh ESP8266, data dikirim melalui IoT menggunakan platform *blynk* dan data dapat dilihat pada *smartphone*.