

BAB IV

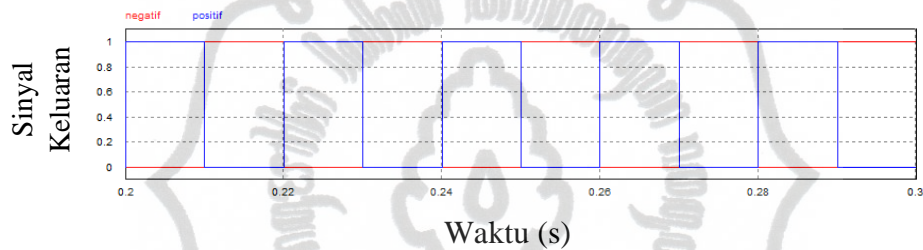
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Simulasi MERS

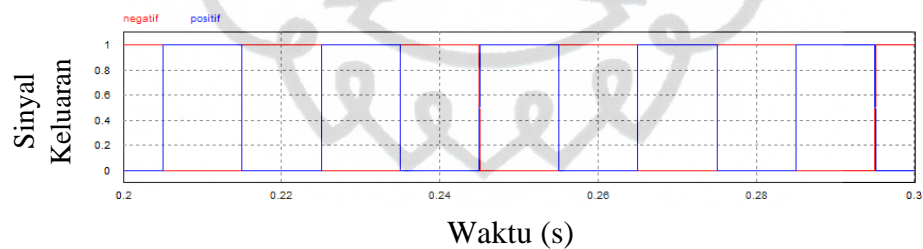
Pengujian simulasi MERS adalah menguji unjuk kerja MERS melalui simulasi dalam hal ini yang digunakan adalah perangkat lunak PSIM.

4.1.1 Pergeseran Sudut dari Simulasi

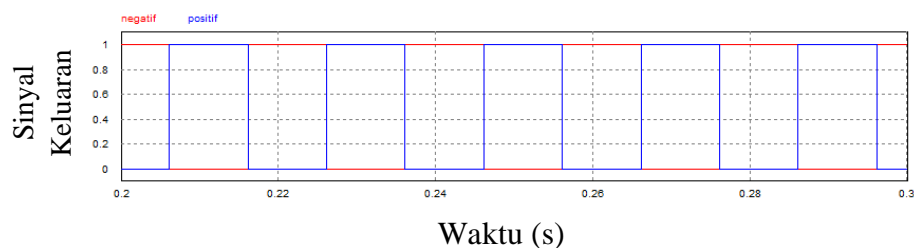
Pada gambar 4.1 menunjukan bahwa hasil simulasi yang dilakukan sudah benar sesuai dengan yang diinginkan, simulasi ini menjadi acuan benar atau tidaknya MERS dari sisi perangkat keras.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.1 Uji pergeseran sudut penyulutan dari sisi simulasi (a) 1° (b) 90° (c) 110°

4.1.2 Tujuan Utama Simulasi MERS

Setelah pergeseran sudut pada simulasi dapat dilakukan dengan baik, simulasi dapat digunakan sebagai acuan. Tujuan utama dari simulasi MERS dilakukan adalah untuk mencari tau nilai kapasitor MERS yang paling baik untuk dipasang pada perancangan alat. Kapasitor MERS dipilih berdasarkan kesesuaian dengan beban, beban direpresentasikan dengan rangkaian R-L sub bab 3.2.

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*).

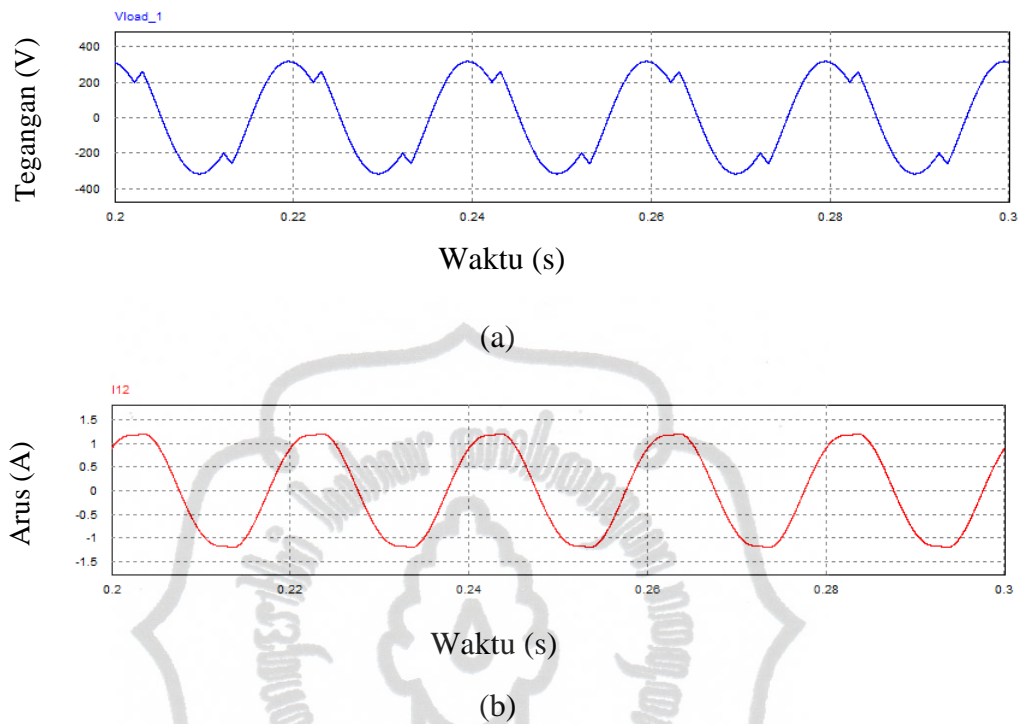
Besarnya sudut penyulutan yang digunakan berdasarkan keterbatasan tegangan yang ada pada beban motor listrik yang memiliki tegangan masukan minimal 215 V dan maksimal 230 V karena dikawatirkan akan merusak motor induksi. Selain tegangan beban, tegangan kapasitor juga menjadi batasan karena kapasitor yang digunakan memiliki tegangan kerja maksimal 450 V. Dari sini didapat sudut penyulutan dibatasi dari 51-56 pada mode *discontinuous*.

4.1.3 MERS Sebagai Kompensator Daya Reaktif dari Simulasi

MERS sebagai kompensator daya reaktif dari segi simulasi dilakukan untuk menguji ketepatan pada sisi perangkat keras. Simulasi yang diujikan adalah respon beban menggunakan nilai kapasitor MERS dan juga beban yang sudah direpresentasikan dengan menggunakan R-L. Dari simulasi ini dapat dilihat pada sudut penyulutan 56, tegangan beban sudah mencapai 230 V sehingga sudut penyulutan 56 dijadikan batas maksimum sebab dikhawatirkan tegangan beban terlalu besar sehingga dapat merusak beban itu sendiri. Selain tegangan dapat dilihat faktor daya yang dihasilkan dari sisi beban meningkat menjadi 7.47. ini menunjukkan kompensator daya reaktif yang dirancang dapat menaikkan faktor daya beban.

Pada gambar 4.3 juga dapat dilihat adanya *harmonic* yang terjadi, namun *harmonic* tersebut menjadi batasan masalah yang dibahas pada laporan ini. Untuk

mengatasi *harmonic* tersebut dapat menggunakan metode pengendalian dengan mengkombinasikan mode *discontinuous* dan *dc offset*.



Gambar 4.2 Hasil simulasi pada sudut penyulutan 56°

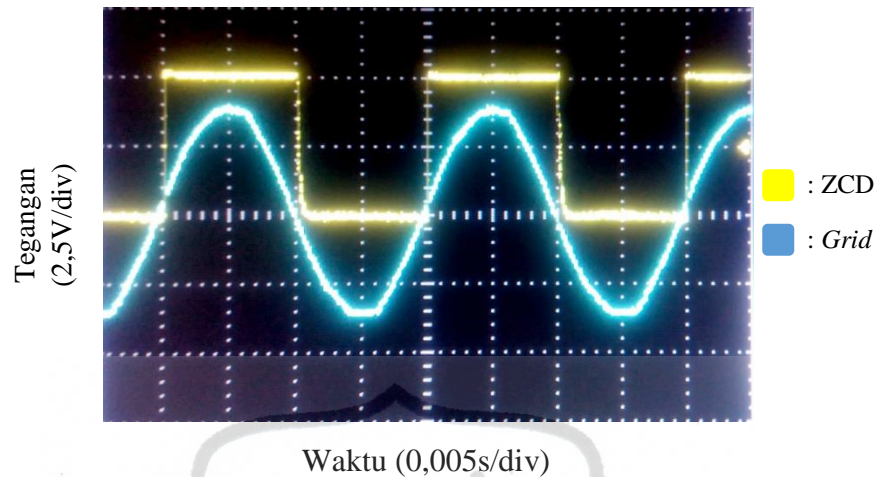
RMS Value			
Time	From	2.0001000e-001	
Time	To	3.0000000e-001	
Vload_1			2.3041131e+002
I12			8.9972454e-001
VAPF1_PF			7.4778566e-001

Gambar 4.3 Hasil nilai RMS dari tegangan, arus, dan faktor daya pada sudut 56°

4.2 Pengujian Perangkat MERS

Pengujian perangkat MERS adalah menguji operasional MERS mulai dari kemampuannya mendeteksi persilangan nol dari tegangan *grid*. Menguji sinyal keluaran dari arduino uno dan pengaturan sudut penyulutan pada MOSFET, serta pengujian terhadap besar tegangan sinyal yang diumpankan ke *gate* MOSFET.

4.2.1 Pengujian Keluaran Rangkaian ZCD

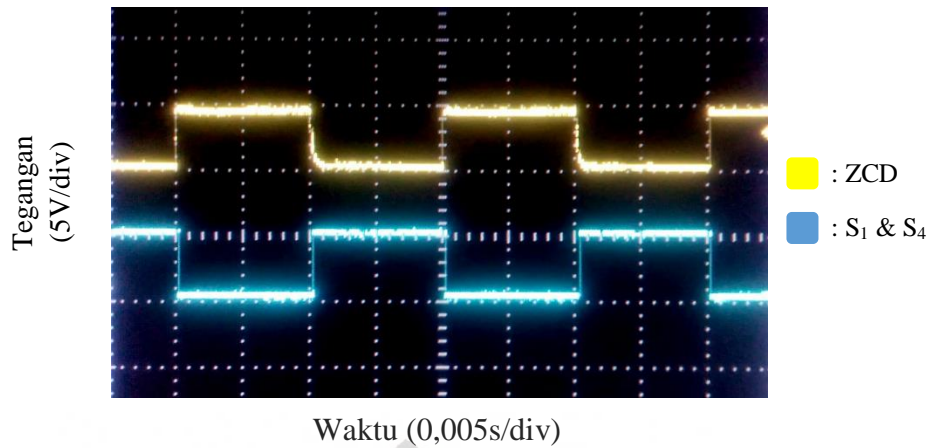


Gambar 4.4 Hasil pengujian rangkaian ZCD

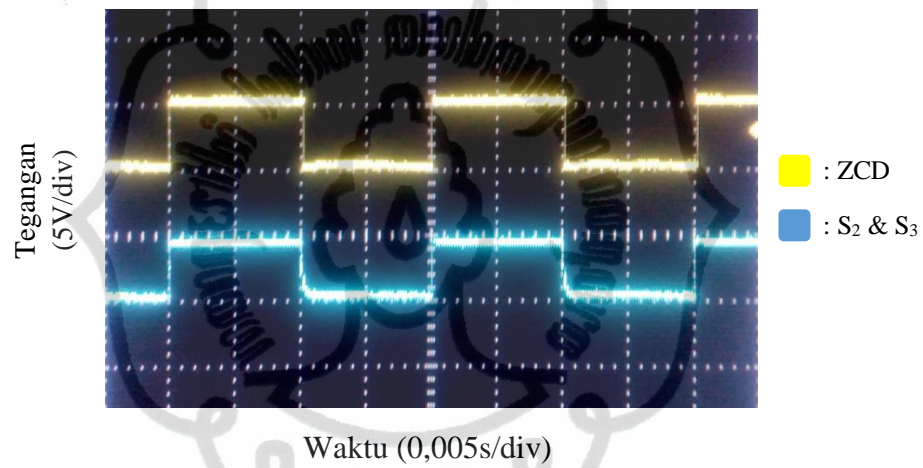
Pada gambar 4.4 dapat dilihat dua buah gelombang yaitu masukan dan keluaran dari rangkaian ZCD. Sinyal berbentuk sinusoidal adalah tegangan *grid* yang sudah diturunkan dengan trafo *step down* menjadi $12 V_{rms}$. Sedangkan sinyal berbentuk kotak adalah sinyal keluaran dari rangkaian ZCD. Ketika tegangan *grid* berada di siklus positif, rangkaian ZCD akan mengeluarkan sinyal *high* dan ketika berada di siklus sebaliknya, rangkaian ZCD akan mengeluarkan sinyal *low*. Perubahan *low* ke *high* maupun sebaliknya merupakan gambaran dari persilangan nol pada tegangan *grid*. Perubahan dari *low* ke *high* disebut dengan *rising edge*, apabila sebaliknya disebut dengan *falling edge*.

4.2.2 Pengujian Pergeseran Sudut Penyulutan

Salah satu fungsi dari *gate controller* MERS adalah dapat mengakomodasi pergeseran sudut penyulutan. Sudut penyulutan merupakan perbedaan fase antara tegangan *grid* dengan sinyal penyulutan MOSFET. Perubahan sudut penyulutan akan mempengaruhi lama *charging* dan *discharging* pada kapasitor MERS. Dengan dapat diaturnya sudut penyulutan maka tegangan kapasitor akan dapat divariasikan. Semakin besar sudut penyulutan, maka semakin kecil tegangan kapasitor karena waktu *charging* kapasitornya semakin singkat dan nilai kapasitansnya semakin besar. Akibatnya nilai reaktans kapasitif semakin kecil dan daya reaktif yang makpu dihasilkan semakin besar.

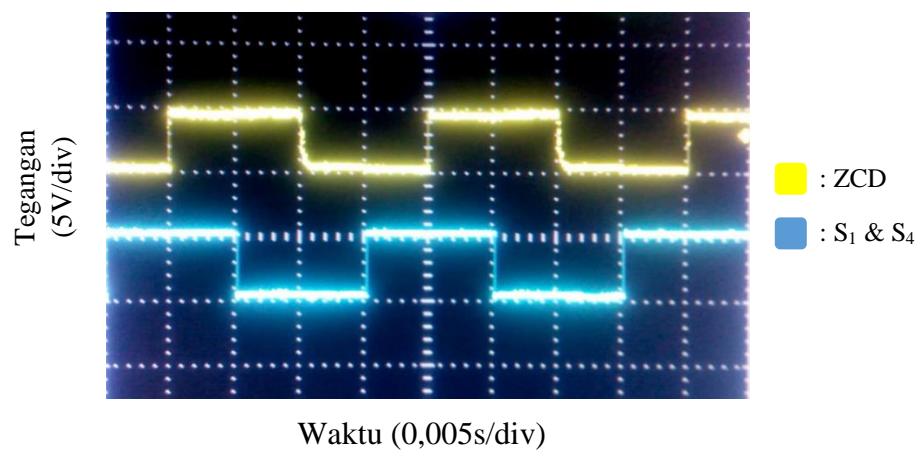


(a)

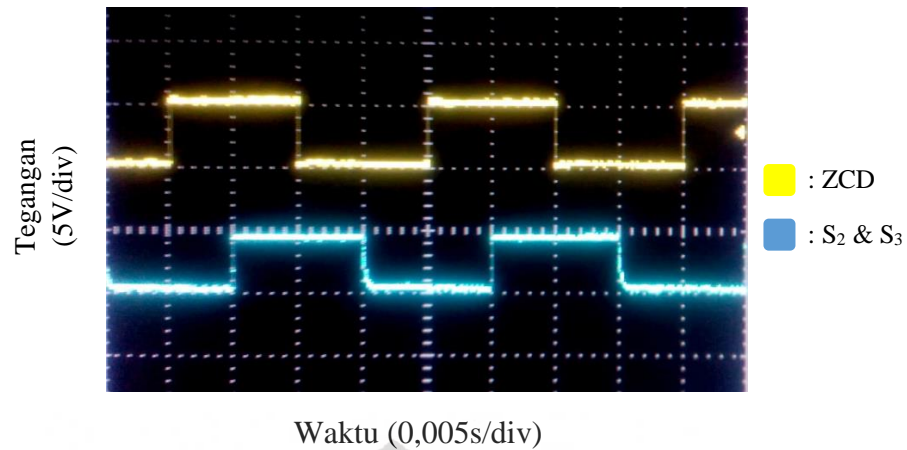


(b)

Gambar 4.5 Sinyal keluaran arduino uno saat sudut penyulutan 1° (a) S_1 dan S_4 terhadap ZCD (b) S_2 dan S_3 terhadap ZCD



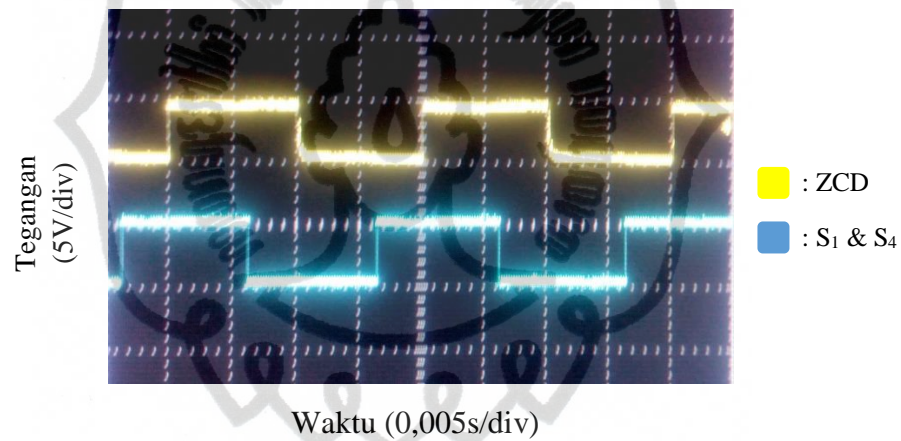
(a)



Waktu (0,005s/div)

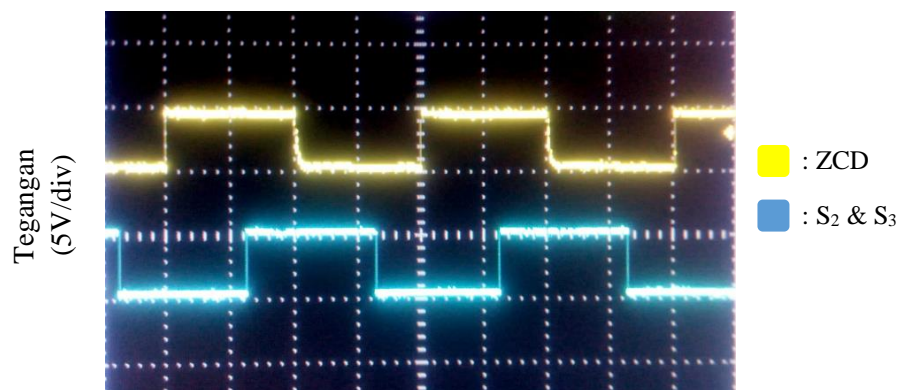
(b)

Gambar 4.6 Sinyal keluaran arduino uno saat sudut penyulutan 90° (a) S₁ dan S₄ terhadap ZCD (b) S₂ dan S₃ terhadap ZCD



Waktu (0,005s/div)

(a)



Waktu (0,005s/div)

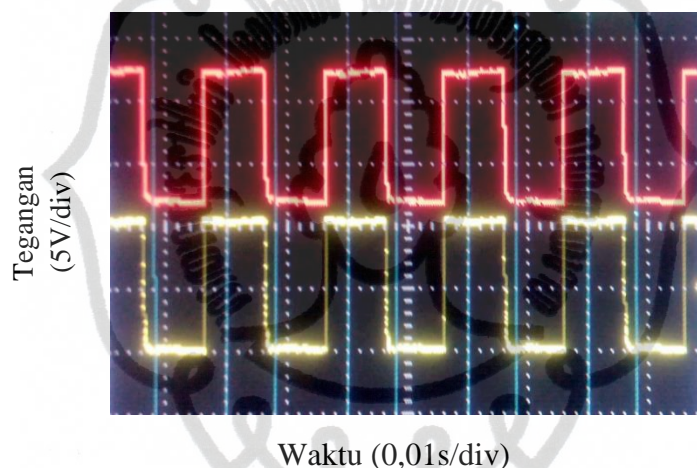
(b)

Gambar 4.7 Sinyal keluaran arduino uno saat sudut penyulutan 110° (a) S₁ dan S₄ terhadap ZCD (b) S₂ dan S₃ terhadap ZCD

Gambar 4.5 sampai gambar 4.7 menunjukkan pergeseran sudut penyulutan MERS mulai dari 1° , 90° , dan 110° . Terdapat dua sinyal yang terdapat pada gambar tersebut, sinyal yang berwarna kuning merupakan sinyal keluaran dari rangkaian ZCD dan sinyal berwarna biru merupakan keluaran dari arduino uno yang diumpankan kesisi *high* dan *low* rangkaian penggerak. Dua buah sinyal yang akan diumpankan ini saling berkomplemen satu sama lain.

Pada perancangan ini besar sudut penyulutan tidak dapat mencapai 180° karena dikhawatirkan terjadi *overflow* pada saat yang bersamaan dengan *external interrupt* muncul sehingga mengakibatkan *error*.

4.2.3 Pengujian Keluaran Rangkaian Gerak



Gambar 4.8 Sinyal keluaran sisi atas dan bawah IC IR2110.

Agar dapat mengaktifkan MOSFET diperlukan tegangan sebesar 10 – 20 V. Padahal tegangan logika keluaran arduino uno hanya 5 V. IC IR2110 akan meningkatkan tegangan ini menjadi sekitar 11 V dan mengumpankan ke kaki *gate* pada MOSFET untuk mengaktifkannya. Selain untuk meningkatkan tegangan logika keluaran pin arduino uno, IC IR2110 juga digunakan untuk memberikan *floating supply* agar menjaga beda tegangan antara kaki *gate* dan *source* tetap sebesar 10 – 20 V. Pada gambar 4.8 sinyal berwarna merah merupakan sinyal sisi atas yang dihasilkan IC IR2110, sedangkan yang kuning adalah sinyal sisi bawah.

4.3 Pengujian Monitoring Daya

Pengujian monitoring daya adalah menguji operasional monitoring daya, mulai dari kemampuannya dalam mendeteksi tegangan, arus, faktor daya, dan daya nyata. Sampai menampilkan data melalui IoT pada *smartphone*.

4.3.1 Hasil Monitoring

Hasil monitoring yang didapat dibandingkan dengan alat ukur standard untuk mengetahui besar kesalahan yang terjadi pada rancangan alat monitoring daya. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Alat Ukur

Sudut Penyulutan	Alat ukur standard				Alat ukur rancangan				error (%)			
	V (V)	I (A)	P(W)	pf	V (V)	I (A)	P(W)	pf	V	I	P	pf
51	217	0.81	127	0.725	219	0.84	131	0.712	0.92	3.7	2.707	1.79
52	218	0.82	130	0.727	221	0.84	134	0.722	1.38	2.44	3.039	0.69
53	221	0.83	134	0.73	223	0.85	137	0.723	0.9	2.41	2.292	0.96
54	224	0.83	136	0.733	226	0.85	140	0.73	0.89	2.41	2.819	0.41
55	226	0.85	142	0.739	228	0.86	145	0.738	0.88	1.18	1.897	0.14

Dari tabel 4.1 terjadi rata-rata error pada tegangan (V) sebesar 1%, pada arus (I) terjadi rata-rata error sebesar 2.43%, pada daya aktif (P) rata-rata error sebesar 2.55%, dan pada faktor daya rata-rata error sebesar 0.8%. Dapat disimpulkan kesalahan pada sistem monitoring yang dirancang bekerja dengan cukup baik, karena kesalahan yang terjadi masih dibawah 5%.

Tabel 4.2 Efisiensi Daya

Sudut Penyulutan	Daya Output (VA)	Daya Input (VA)	Efisiensi Daya (%)	Rugi-rugi Daya (%)
51	175.77	180.11	97.5904	2.4691
52	178.76	183.12	97.619	2.439
53	183.43	185.64	98.8095	1.2048
54	185.92	192.64	96.5116	3.6145
55	192.1	196.62	97.7011	2.3529

Dari tabel 4.2 dapat kita lihat efisiensi daya dari alat yang dirancang memiliki efisiensi daya dengan rata-rata 97.6% dan rugi-rugi daya dengan rata-rata 2.41%. Pada sudut penyulutan 53 dan 54 terlihat perubahan efisiensi dan rugi-rugi daya yang signifikan, hal ini dikarenakan adanya pembulatan angka pada pengukuran arus.

4.3.2 Menampilkan Hasil Monitoring Melalui *Smartphone*

Pada monitoring yang dapat ditampilkan pada *smartphone* adalah tegangan beban (V), arus beban (I), daya aktif (P), dan Faktor daya. Seperti pada gambar 4.9.

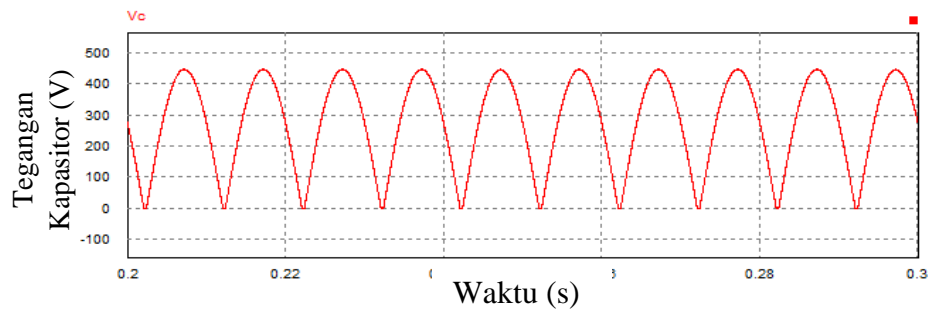


Gambar 4.9 Tampilan Monitoring melalui *smartphone*

4.4 Pengujian MERS sebagai Kompensator Daya Reaktif

Sebelum dilakukan pengujian hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan letak mode *balance*. Mengetahui letak mode *balance* ini sangatlah penting, karena akan menentukan operasi awal motor. Apabila sudut penyulutan ditentukan secara acak maka saat berada di mode *discontinuous* tegangan pada motor akan semakin besar dan dapat merusak motor. Sebaliknya ketika berada di mode *dc-offset* tegangan motor akan semakin kecil sehingga motor tidak dapat bergerak.

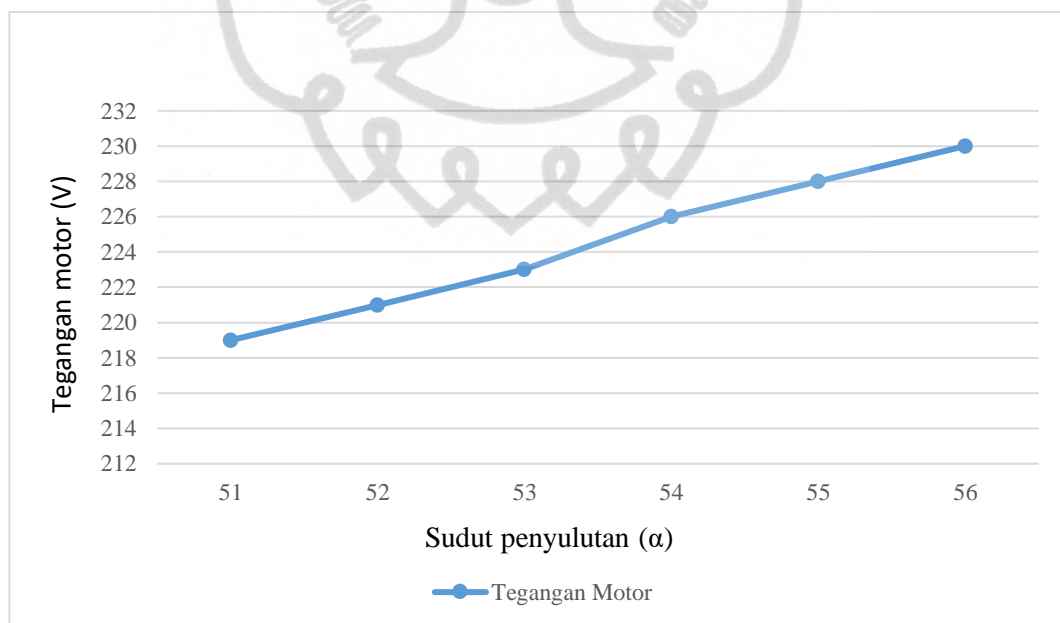
Mencari letak mode *balance* dapat menggunakan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa mode *balance* untuk nilai kapasitansi $7.67\mu\text{F}$ terletak pada sudut 39° dan tegangan yang dihasilkan 192 V. Untuk menyalakan motor, sudut minimal di set pada 51° dengan tegangan yang dihasilkan 219V. Nilai ini di programkan ke mikrokontroler agar ketika MERS menyala nilai sudut awalnya adalah 51° .



Gambar 4.10 Hasil simulasi tegangan kapasitor MERS saat mode *balance*

4.4.1 Tegangan Motor Induksi

Besar tegangan beban tanpa menggunakan MERS adalah sekitar 219 V. Gambar 4.11 Menunjukkan bahwa MERS yang dipasang secara seri mampu memberikan injeksi tegangan yang variabel sehingga tegangan beban dapat berubah-ubah. Semakin besar sudut penyulutan akan semakin besar pula tegangan motor induksi. Menaikan sudut penyulutan lebih dari 56° akan berpotensi merusak motor induksi dan kapasitor MERS karena tegangannya semakin besar.

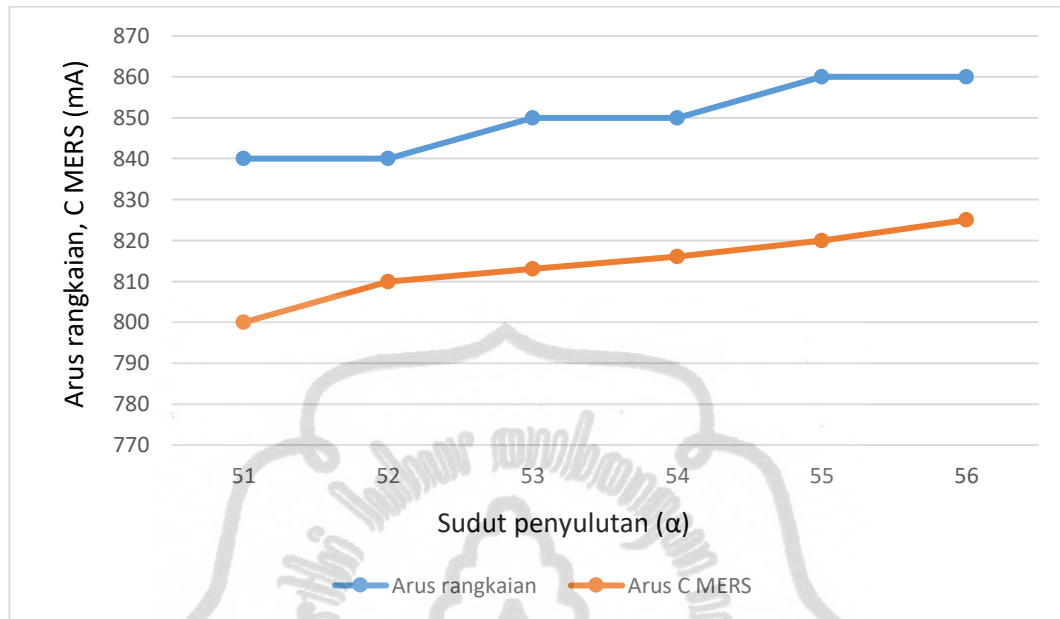


Gambar 4.11 Hubungan sudut penyulutan terhadap tegangan motor.

4.4.2 Arus Rangkaian dan Kapasitor MERS

Gambar 4.12 Menunjukkan sudut penyulutan yang semakin besar membuat arus yang mengalir dirangkaian semakin besar, sehingga impedansi rangkaian semakin

berkurang. Semakin besar kapasitor yang digunakan, maka arus yang mengalir pada rangkaian akan semakin besar.

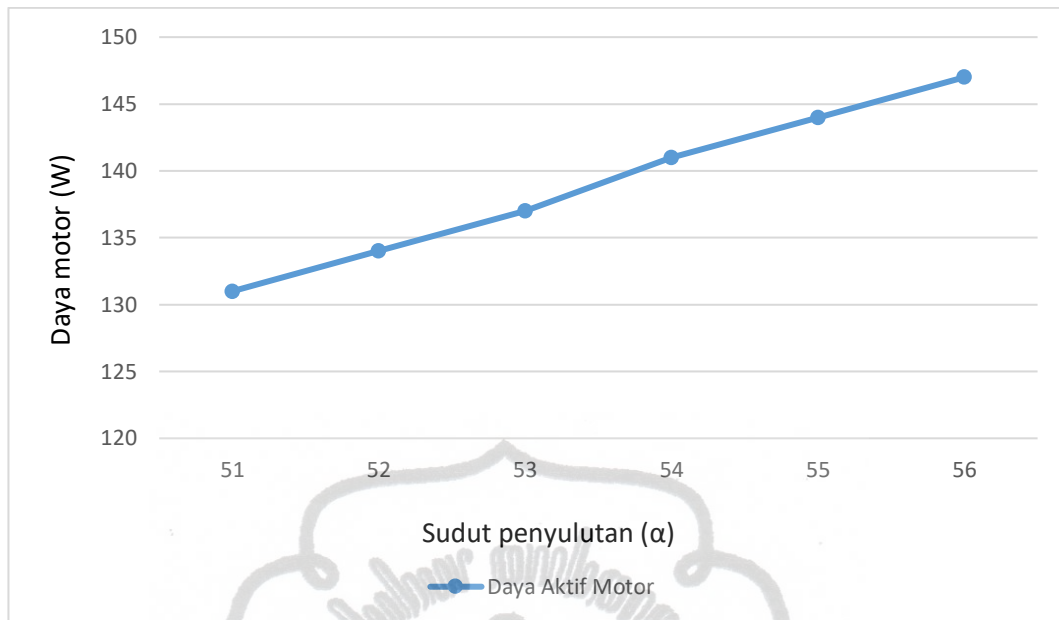


Gambar 4.12 Hubungan sudut penyulutan dengan arus rangkaian dan kapasitor MERS

Gambar 4.12 juga menunjukkan bahwa meskipun terhubung secara seri pada kondisi tertentu arus yang mengalir di kapasitor MERS akan berbeda dengan arus sebelum masuk/setelah keluar dari MERS. Hal ini berkaitan dengan mode operasi *discontinuous*. Pada mode tersebut, ketika sudut penyulutan dinaikkan maka waktu pengisian dan pelepasan muatan kapasitor akan semakin singkat. Ketika tegangan di kapasitor sudah habis, siklus tegangan *grid* sudah berganti dan saklar masih *on* maka arus akan mengalir secara *by-pass* (tanpa melewati kapasitor).

4.4.3 Daya Motor Induksi

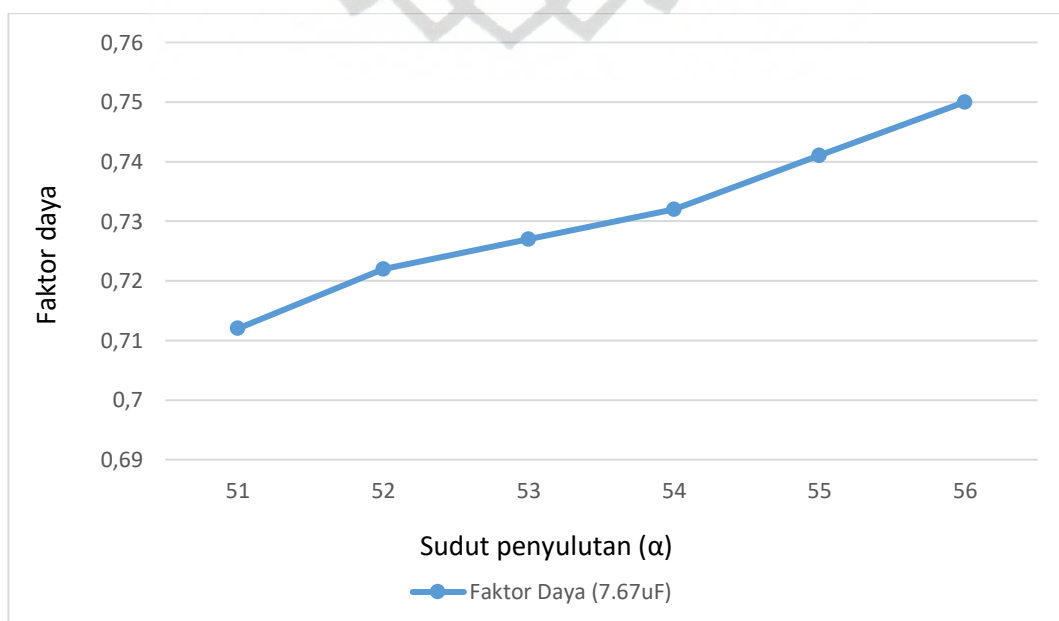
Gambar 4.13 Menunjukkan peningkatan daya yang dikonsumsi motor induksi seiring dengan penambahan sudut penyulutan. Penambahan tegangan pada beban dan arus yang mengalir pada rangkaian membuat daya yang dikonsumsi oleh motor semakin bertambah. Daya reaktif yang dikompensasi juga menyebabkan semakin besarnya daya aktif yang digunakan.



Gambar 4.13 Hubungan sudut penyulutan terhadap daya aktif motor induksi

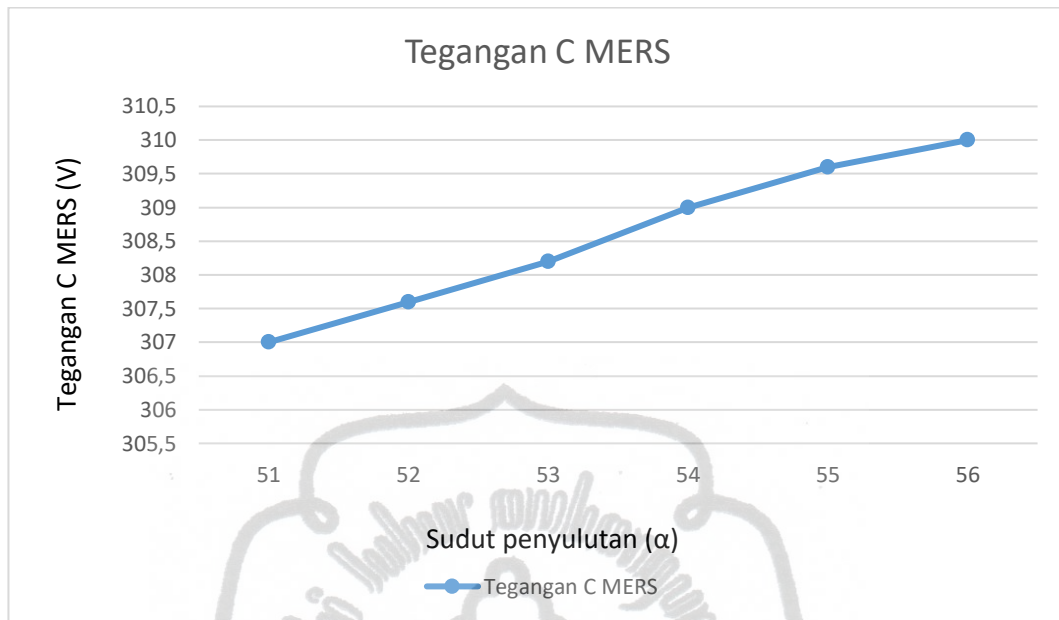
4.4.4 Faktor Daya Motor Induksi

Gambar 4.14 Menunjukkan peningkatan faktor daya pada motor induksi. Pada penggunaan kapasitor MERS sebesar $7.67\mu\text{F}$, faktor daya maksimum yang mampu dihasilkan adalah sebesar 0.75 dari yang sebelumnya berada pada 0.7 (tanpa menggunakan MERS). Hal ini terjadi karena adanya daya reaktif yang dikompensasi oleh MERS.



Gambar 4.14 Hubungan sudut penyulutan terhadap faktor daya motor induksi

4.4.5 Tegangan kapasitor MERS



Gambar 4.15 Hubungan sudut penyulutan terhadap tegangan kapasitor MERS

Bertambahnya sudut penyulutan membuat besar reaktansi kapasitor pada kapasitor MERS semakin berkurang. Akibatnya adalah sifat kapasitif pada beban semakin berkurang dan impedansinya ikut berkurang. Arus yang mengalir semakin besar sehingga tegangan yang dihasilkan oleh MERS juga semakin bertambah. Hal ini kemudian berpengaruh pada tegangan beban yang juga ikut bertambah. Gambar 4.15 Menunjukkan hubungan antara sudut penyulutan terhadap tegangan kapasitor MERS.

Memperbesar nilai kapasitans kapasitor sama saja dengan menambah sudut penyulutan. Ketika nilai kapasitor MERS diperbesar maka tegangan di kapasitor tersebut juga ikut bertambah. Besar tegangan di kapasitor MERS akan menjadi batas pengaturan sudut penyulutan MERS.

4.5 Evaluasi Perancangan MERS

Pada sub bab ini akan dibahas tentang performa dari perancangan MERS mulai dari kelebihan hingga kekurangan pada alat yang dirancang.

Kompensator daya reaktif yang dibuat dapat bekerja sesuai fungsi dan mampu meningkatkan faktor daya sampai dengan 0.75 di sudut penyulutan 56. Dari sudut penyulutan 51 – 56 dapat dilihat sudut yang paling optimal adalah sudut 53, karena

menghasilkan daya aktif seperti karakteristik beban dengan faktor daya yang bertambah sampai hampir 0.73 dengan tegangan beban di 223 V, mendekati tegangan pada spesifikasi motor yaitu 222 V.

Pada perancangan kompensator daya reaktif ini juga memiliki kekurangan, yaitu adanya arus bocor pada rangkaian, ini diduga karena IC IR2110 tidak memiliki isolasi terhadap tegangan AC yang tinggi. Hal ini mengakibatkan sering terjadi kerusakan pada MOSFET dan IC IR2110. Disarankan menggunakan optocoupler untuk pengembangan dan perancangan kompensator sejenis.

