

**TESIS**

**SISTEM PENGATURAN ALIRAN DAYA BERBASIS SCR  
UNTUK INTEGRASI GRID PADA PLTS SKALA RUMAH**

**Disusun oleh:**

**A. MUH. AQSHA AZHAR MANGKONA**

**D032 19 2 006**

*Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan untuk  
Menyelesaikan Program Studi Magister Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



**PROGRAM STUDI MAGISTER**

**TEKNIK ELEKTRO**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SISTEM PENGATURAN ALIRAN DAYA BERBASIS SCR UNTUK INTEGRASI  
GRID PADA PLTS SKALA RUMAH**

Disusun dan diajukan oleh

**A. MUH. AQSHA AZHAR MANGKONA**  
**D032 19 2 006**

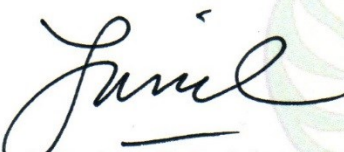
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 7 Desember 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,  
Komisi Penasehat



Prof. Dr.-Ing. Faizal Arya Samman, S.T., M.T.

Ketua



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU

Sekretaris

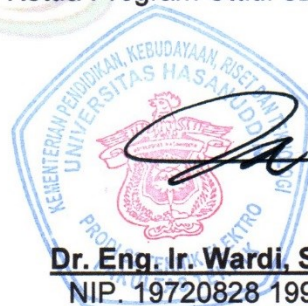
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi S2 Teknik Elektro



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.

NIP. 19730926 200012 1 002



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng.

NIP. 19720828 199903 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : A. Muh. Aqsha Azhar Mangkona  
NIM : D032 19 2 006  
Program Studi : Teknik Elektro  
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Sistem Pengaturan Aliran Daya Berbasis SCR untuk Integrasi Grid pada PLTS Skala Rumah*

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Desember 2022

Yang membuat pernyataan,



A. Muh. Aqsha Azhar Mangkona

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya bagi Allah *Azza wa Jalla*. Kami memuji, memohon pertolongan, petunjuk, dan ampunan-Nya. Kami berlindung kepada Allah dari kejahatan diri dan keburukan perbuatan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah, maka tidak ada yang dapat menyesatkannya dan barang siapa yang disesatkan oleh Allah, maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Aku bersaksi bahwa tiada *ilah* yang berhak disembah selain Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, tiada sekutu bagi-Nya dan aku bersaksi bahwa Muhammad *Shallallahu 'alaihi Wasallam* adalah hamba dan utusan-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah *Shallallahu 'alaihi Wasallam*, keluarga, Sahabat, *Tabi'in*, *At baut Tabi'in*, dan orang-orang yang senantiasa istiqamah mengikutinya hingga hari kiamat.

Tesis ini berjudul "*Sistem Pengaturan Aliran Daya Berbasis SCR untuk Integrasi Grid pada PLTS Skala Rumah*" disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat TaufiqNya, ikhtiar, dan doa, penulisan tesis ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan tesis ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, S.T., M.T. dan Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng., IPU. selaku dosen pembimbing, terima kasih banyak atas ilmu, bimbingan, dan waktu yang telah diberikan sehingga penyusunan tesis ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir. Yustinus Upa Sombolayuk, S.T., M.T., Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D., dan Ibu Dr. Ir. Fitriyanti Mayasari, S.T., M.T., IPM.

selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis untuk terus berusaha dan belajar.

3. Segenap Dosen Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama penulis menuntut ilmu di Universitas Hasanuddin serta segenap Pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membantu dalam pengurusan administrasi.
4. Bapak Dr. Eng. Wardi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
7. Orang tua penulis, Ir. Muhammd Azhar Mangkona dan Dra. Musdalifah Mamma yang senantiasa memberikan kasih sayang dan doa yang tulus serta kepada saudara penulis Muhammad Imran, Nur Aulia, Nur Wahidah dan Nur Inayah atas dukungan dan doa yang diberikan.
8. Ustadz Fuad Bawardi, S.K.M., M.K.M. dan ikhwah Ulul Albab 13 : Fandi, Arief, Yusril, Fadel, dan Firman. *Jazakumullahu khairan*.
9. Keluarga Besar UKM LDK MPM Unhas dan AI Muhandis FT-UH
10. Saudara seperjuangan tugas akhir di Laboratorium Elektronika dan Divais, Fajri Sachruddin, Aswan, Nurul Hidayat, Askar, Fajar, dan Elite Team lainnya
11. Dan tentunya kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu semoga senyum terbaik, doa yang tulus, motivasi, dan saran yang telah diberikan bernilai pahala di sisiNya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Akhir kata, tiada kata yang patut penulis ucapkan selain rasa syukur dan doa, semoga Allah *Azza Wa Jalla* memberikan balasan dengan sebaik-baik balasan dan mengumpulkan kita kelak di sebaik-baik tempat kembali.

Makassar, Desember 2022

Penulis

## ABSTRAK

Tesis ini menyajikan pengaturan aliran daya berbasis Silicon Controlled Rectifier (SCR) untuk integrasi grid pada PLTS skala rumah. Pengaturan aliran daya digunakan untuk mengontrol aliran daya dari grid jika daya dari PLTS dan baterai tidak dapat memenuhi kebutuhan daya pada beban. Rangkaian pengaturan aliran daya pada grid terdiri atas full-wave SCR, filter, dan zero crossing. Rangkaian full-wave SCR berfungsi untuk mengubah 220 Volt AC dari grid menjadi tegangan DC. Pengaruh sudut penyalaan SCR pada tegangan keluaran full-wave SCR ditunjukkan dalam tesis ini. Filter dengan kombinasi induktor (L) dan kapasitor (C) yang dirangkai menjadi filter LCLC yang tersusun paralel dengan beban yang bertujuan untuk menghaluskan riak pada tegangan keluaran. Rangkaian dirancang dan dimodelkan dalam kode program PSpice, kemudian disimulasikan dan dianalisis. Hasil pengujian simulasi dan implementasi menunjukkan bahwa tegangan dapat bekerja pada tegangan setpoint pada beban 100 ohm dan 50 ohm. Rangkaian pengaturan aliran daya dapat memasok hingga 1.3 kWh berdasarkan hasil simulasi.

**Kata Kunci**— pengaturan aliran daya, full-wave SCR, zero crossing, filter, PSpice

## ABSTRACT

This thesis presents Silicon Controlled Rectifier (SCR) based power flow control for grid integration in home-scale photovoltaic system. Power flow control is used to control the power flow from the grid if the power from solar panel and battery cannot meet the power requirements of the load. The power flow control circuit on the home grid consists of a full-wave SCR, filter, and zero crossing. Full-wave SCR circuit serves to convert 220 Volt AC from the grid into DC Voltage. The effect of the delay angle of the SCR on the full-wave SCR output voltage is shown in this thesis. A filter with a combination of an inductor (L) and a capacitor (C) which is assembled into an LCLC filter in parallel with the load aims to smooth out ripples in the output voltage. The circuit is designed and modeled in The PSpice program code, then simulated and analyzed. The simulation and implementation test results show that the voltage can work at the setpoint voltage at 100-ohm and 50-ohm loads. The power flow control circuit can supply up to 1.3 kWh based on the simulation results.

**Keywords**—power flow control, full-wave SCR, zero crossing, filter, PSpice



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xiii
BAB I : PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	5
C. Tujuan Penelitian .....	6
D. Batasan Masalah .....	6
E. Sistematika Penulisan .....	6
BAB II : LANDASAN TEORI .....	8
A. Silicon Controlled Rectifier (SCR).....	8
B. Filter .....	13
C. Zero Crossing.....	18
D. Sel Surya .....	21
E. Baterai.....	24
F. State of Art Penelitian.....	26

BAB III : PERANCANGAN SISTEM.....	32
A. Tahapan Penelitian .....	32
B. Perancangan Sistem.....	33
C. Perancangan Perangkat Keras .....	37
D. Perancangan Perangkat Lunak .....	40
E. Skenario Pengujian .....	46
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
A. Hasil Simulasi.....	47
1. Simulasi Full-Wave SCR tanpa Filter.....	47
2. Simulasi Filter .....	49
3. Simulasi Full-Wave SCR dengan Filter.....	54
4. Simulasi Full-Wave SCR pada Sistem Terintegrasi .....	60
B. Hasil Implementasi.....	63
1. Pengujian Full-Wave SCR tanpa Filter .....	64
2. Pengujian Full-Wave SCR dengan Filter .....	66
3. Pengujian Full-Wave SCR pada Sistem Terintegrasi.....	71
BAB V : PENUTUP .....	77
A. Kesimpulan .....	77
B. Saran .....	78
Daftar Pustaka.....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rangkaian dasar SCR .....	8
Gambar 2. Kaki SCR .....	9
Gambar 3. Rangkaian pengontrol tegangan satu fasa .....	10
Gambar 4. Bentuk gelombang rangkaian pengontrol tegangan satu fasa.....	11
Gambar 5. (a) Rangkaian jembatan gelombang penuh SCR (b) Tegangan keluaran dari beban .....	12
Gambar 6. (a) Penyearah dengan filter C (b) gelombang tegangan input dan <i>output</i> .....	14
Gambar 7. Penyearah dengan filter LC.....	17
Gambar 8. Rangkaian dasar <i>zero crossing</i> .....	19
Gambar 9. Gelombang input dan <i>output</i> .....	20
Gambar 10. Rangkaian ekuivalen PV .....	21
Gambar 11. Konfigurasi (a) seri (b) <i>switch</i> (c) paralel .....	23
Gambar 12. <i>depth-of-discharge</i> pada baterai .....	24
Gambar 13. Diagram blok sistem.....	33
Gambar 14. Rangkaian pengaturan aliran daya berbasis SCR.....	35
Gambar 15. Skematik <i>zero crossing</i> .....	37
Gambar 16. Skematik <i>full-wave</i> SCR.....	38
Gambar 17. Skematik B0505s .....	38
Gambar 18. Skematik rangkaian filter .....	39
Gambar 19. Skematik sensor tegangan dan arus .....	39
Gambar 20. Model rangkaian simulasi <i>full-wave</i> SCR dengan filter .....	40
Gambar 21. Diagram alir sistem .....	44
Gambar 22. Diagram alir alat.....	45
Gambar 23. Output rangkaian <i>full-wave</i> SCR tanpa filter (a) tegangan (b) arus .....	48
Gambar 24. Filter C (a) rangkaian (b) hasil simulasi .....	49
Gambar 25. Filter LC (a) rangkaian (b) hasil simulasi .....	50

Gambar 26. Filter LCL (a) rangkaian (b) hasil simulasi .....	51
Gambar 27. Filter LCLC (a) rangkaian (b) hasil simulasi.....	52
Gambar 28. Hasil simulasi filter LCLCLC .....	53
Gambar 29. Simulasi pada beban 100 dan 50 ohm .....	54
Gambar 30. Hubungan tegangan dengan sudut penyalaan .....	55
Gambar 31. Daya pada beban.....	57
Gambar 32. Daya input dan output pada full-wave SCR dengan sudut penyalaan 15° .....	59
Gambar 33. Rangkaian <i>full-wave</i> SCR terhubung inverter.....	60
Gambar 34. Hasil simulasi pengujian sistem terintegrasi .....	61
Gambar 35. PCB (a) Tegangan <i>output</i> (b) Arus <i>output</i> .....	62
Gambar 36. Daya input dan <i>output</i> inverter .....	62
Gambar 37. PCB <i>full-wave</i> SCR (a) dot matriks (b) PCB Cetak.....	63
Gambar 38. Gelombang <i>output full-wave</i> SCR tanpa filter (a) 120° (b) 90° (c) 60° .....	65
Gambar 39. <i>Output full-wave</i> SCR dengan beban 100 dan 50 ohm.....	66
Gambar 40. Perubahan sudut penyalaan selama pengujian.....	68
Gambar 41. Hubungan antara sudut penyalaan, tegangan, arus, dan daya keluaran .....	69
Gambar 42. Sistem terintegrasi .....	71
Gambar 43. Titik pengukuran pada sistem terintegrasi .....	72
Gambar 44. Hasil pengujian sistem terintegrasi.....	73
Gambar 45. Gelombang arus (a) <i>grid</i> (b) trafo (c) <i>full-wave</i> SCR (d) gelombang tegangan pada <i>full-wave</i> SCR.....	74
Gambar 46. (a) tegangan <i>output</i> inverter (b) THD <i>output</i> .....	75

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Konsumsi energi dunia .....	1
Tabel 2. <i>State of art</i> penelitian .....	26
Tabel 3. Hubungan sudut penyalan, tegangan, arus, dan daya .....	56
Tabel 4. Efisiensi <i>full-wave</i> SCR.....	58
Tabel 5. Hasil simulasi 3 beban pada integrasi sistem.....	61
Tabel 6. Hubungan sudut penyalan, tegangan, arus, dan daya .....	69
Tabel 7. Hasil Pengujian sistem terintegrasi .....	72

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Ampere
AC	<i>Alternating Current</i>
C	Kapasistansi
DC	<i>Direct Current</i>
F	Farad
f	Frekuensi
H	Henry
Hz	Hertz
L	Induktansi
I	Arus
k	Kilo ( $10^3$ )
M	Mega ( $10^6$ )
m	Mili ( $10^{-3}$ )
n	Nano ( $10^{-9}$ )
P	Daya
PV	<i>Photovoltaic</i> , fotovoltaik
R	Resistansi
s	Sekon
SCR	<i>Silicon Controlled Rectifier</i>
T	Tera ( $10^9$ )
t	<i>Time</i> , waktu
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i>
V	Volt, Tegangan
VA	Volt Ampere
W	Watt
Wh	<i>Watt hour</i>
$\alpha$	Sudut Penyalaan
$\eta$	Efisiensi
$\mu$	Mikro ( $10^{-6}$ )
$\Omega$	Ohm

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi manusia, kelangsungan hidup manusia sangat bergantung pada ketersediaan energi yang digunakan antara lain untuk penerangan, komunikasi, transportasi, dan menjalankan industri kecil maupun besar. Semua aktivitas tidak dapat dilakukan tanpa energi, bila suatu energi di suatu daerah habis, maka peradaban pada daerah tersebut akan hilang dan makhluk hidup cenderung pindah ke daerah lain untuk mencari energi baru untuk memenuhi kebutuhan akan energi. Dengan demikian, manusia sangat bergantung dengan ketersediaan energi untuk kelangsungan kehidupan [1].

Tabel 1. Konsumsi energi dunia

Tahun	Konsumsi (MTOE)	Tahun	Konsumsi (MTOE)
2009	11540.3	2014	12939.8
2010	12099.9	2015	13045.6
2011	12403.7	2016	13228.6
2012	12575.5	2017	13474.6
2013	12819.4	2018	13864.9

Seiring berjalannya waktu, penggunaan energi dunia terus meningkat berdasarkan *BP Statistical Review of World Energy* pada Tabel 1, konsumsi energi dunia meningkat dari tahun 2009 sebanyak 11540.3 *million tonnes of oil equivalent* (MTOE) sampai 2018 sebanyak 13864.9 MTOE [2].

Total konsumsi energi Indonesia (tanpa biomassa tradisional) tahun 2018 sekitar 114 MTOE terdiri dari sektor transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2%. Di tahun yang sama, produksi pembangkit listrik di Indonesia mencapai 283.8 TWh yang sebagian besar dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara sebesar 56.4%, pembangkit listrik berbahan bakar gas sebesar 20.2% dan BBM hanya 6.3%, sementara 17.1% berasal dari energi baru terbarukan [3].

Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional, permintaan listrik dengan porsi terbesar di sektor rumah tangga, kemudian sektor industri, sektor komersial, sektor transportasi dan sektor lainnya. Pangsa permintaan listrik di sektor rumah tangga akan meningkat dari 49% tahun 2018 menjadi 58% pada tahun 2050. Kondisi ini terutama dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah rumah tangga yang meningkat dari 67 juta tahun 2018 menjadi lebih dari 80 juta pada tahun 2050. Selain itu, naiknya level pendapatan masyarakat mendorong naiknya penggunaan barang-barang elektronik seperti pendingin (AC), kulkas, mesin cuci, TV, termasuk kompor listrik induksi.



Permintaan listrik selalu tumbuh lebih tinggi dibandingkan dengan jenis energi lainnya. Pertumbuhan permintaan listrik, diproyeksikan mencapai 2214 TWh pada tahun 2050 atau naik hampir 9 kali lipat dari permintaan listrik tahun 2018 sebesar 254.6 TWh. Laju pertumbuhan permintaan listrik rata-rata sebesar 7% per tahun selama periode 2018-2050 [3]. Dengan semakin meningkatnya permintaan energi akan menjadi masalah yang harus segera dicarikan solusi bersama mengingat sumber daya alam yang menjadi komoditas utama penghasil energi seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam semakin hari semakin berkurang.

Pemanfaatan energi terbarukan merupakan salah satu usaha untuk mengatasi krisis energi di masa depan dan secara bertahap mengurangi ketergantungan kepada sumber energi tak terbarukan. Pemanfaatan energi terbarukan misalnya energi surya di Indonesia memiliki potensi yang besar karena Indonesia terletak di daerah tropis dan menerima radiasi energi surya harian persatuan luas sekitar 4800 watt/m<sup>2</sup> dan menerima radiasi sepanjang tahun dengan waktu siang tahunan lebih panjang jika dibandingkan dengan negara-negara sub tropis [1]. Energi matahari memiliki karakteristik terkendali tapi dapat diprediksi. Pergerakan matahari (waktu), cuaca, dan kondisi lingkungan merupakan faktor yang tak dapat dikontrol, namun memiliki pola tertentu yang dapat dipelajari dan dapat diprediksi. Siklus musim dan prediksi cuaca dapat diprediksi untuk meningkatkan sumber energi yang dapat dimanfaatkan [4].

Sebagaimana energi matahari yang memiliki karakteristik hanya dapat digunakan saat langit cerah, energi terbarukan lain memiliki karakteristik yang beragam, misalnya energi angin hanya dapat digunakan di tempat berangin, dan energi air hanya dapat digunakan di daerah pesisir [4]. Salah satu solusi yang dapat digunakan terkhusus untuk energi matahari yaitu dengan membangun sistem hibrida pada sistem kelistrikan. Sumber energi dari *grid* merupakan sumber yang cocok untuk menutupi kekurangan dari energi matahari yang terbatas pada waktu, cuaca, dan kondisi lingkungan. Selain itu, untuk memanfaatkan energi matahari ketika daya yang dihasilkan lebih besar dari yang dibutuhkan diperlukan baterai untuk menyimpan energi. Dari permasalahan tersebut beberapa penelitian telah dilakukan, pada penelitian [5] dirancang kontroler dengan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mengatur aliran daya pada sistem hibrida, metode *Energy Management Algorithms* (EMA) [6], *Demand Side Management* (DSM) [7], metode *Model Predictive Control* (MPC) [8], Menggabungkan metode *Salp Swarm Optimization Algorithm* (SSO) dan *Cuckoo Search Algorithm* (CSA) [9], Menggabungkan *Modified Dragonfly Algorithm* (MDA) dan *Bat Search Algorithm* (BSA) [10], algoritma *Modified JAYA* [11], dan kombinasi *Dragonfly Algorithm* (DA) dan *Aging Particle Swarm Optimization* (APSO) [12]. Pada penelitian [4-11] tersebut, pengujian dilakukan dengan simulasi perangkat lunak untuk melakukan pengoptimalan daya dengan berbagai fungsi tujuan seperti mempertimbangkan biaya, emisi, *power loss*, kehandalan sistem dan kontroler.

Pada penelitian yang dilakukan sistem dirancang dengan 3 sumber daya yaitu dari fotovoltaik, baterai, dan *grid*. Agar sistem dapat memaksimalkan daya pada fotovoltaik dan baterai diperlukan suatu rangkaian pada *grid* yang dapat mengatur aliran daya pada *grid* tersebut. Pengaturan tersebut bertujuan agar *grid* dapat menyuplai beban jika fotovoltaik dan baterai tidak dapat memenuhi beban dan menahan daya pada *grid* jika fotovoltaik dan baterai bisa memenuhi beban. Pengaturan aliran daya pada *grid* yang terintegrasi pada fotovoltaik yaitu dengan dengan rangkaian modifikasi *full-wave* SCR, filter, dan *zero crossing*. Pengaturan sudut penyalaan pada SCR akan mempengaruhi daya yang akan disuplai dari *grid* dan dapat pula menahan daya dari *grid* apabila beban dapat dipenuhi dari fotovoltaik dan baterai. Selain itu, terdapat filter untuk meminimalkan riak pada *output* modifikasi *full-wave* SCR. Rangkaian akan diuji pada skala laboratorium untuk mengetahui kinerja dari alat tersebut.

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang pengaturan aliran daya berbasis SCR untuk integrasi *grid* pada PLTS skala rumah.
- b. Bagaimana kinerja pengaturan aliran daya berbasis SCR untuk integrasi *grid* pada PLTS skala rumah.

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Merancang pengaturan aliran daya berbasis SCR untuk integrasi *grid* pada PLTS skala rumah.
- b. Mengetahui kinerja pengaturan aliran daya berbasis SCR untuk integrasi *grid* pada PLTS skala rumah.

### D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, perancangan yang akan dibuat dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Simulasi menggunakan aplikasi PSpice untuk mengamati keluaran pada rangkaian pengaturan aliran daya pada *grid* berbasis SCR.
- b. Alat yang dirancang difokuskan untuk memperoleh tegangan keluaran 36 Volt DC.
- c. Alat yang dirancang diuji pada beberapa nilai beban.

### E. Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini disusun secara sistematis yang terdiri atas 5 bab yang saling berhubungan. Uraian singkat dari bab-bab tersebut adalah sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menjelaskan tentang gambaran umum dari *silicon controlled rectifier* (SCR), filter, *zero crossing*, dan penelitian-penelitian terkait.

## BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini menjelaskan tentang perancangan sistem yang terdiri atas perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil simulasi dan implementasi serta analisa mengenai data-data yang diperoleh.

## BAB V PENUTUP

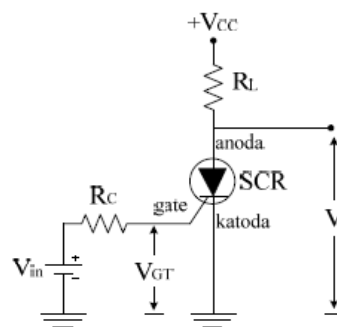
Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan hasil analisa yang dilakukan dan saran perbaikan untuk menyempurnakan tesis ini.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Silicon Controlled Rectifier (SCR)

*Silicon Controlled Rectifier* (SCR) adalah komponen yang terbuat dari bahan *semiconductor silicon* dan mempunyai fungsi sebagai pengendali ataupun sebagai saklar. SCR juga sering disebut thyristor. Dari semua perangkat daya semikonduktor konvensional, SCR adalah yang tertua, memiliki biaya terendah per kVA terukur dan mampu mengendalikan jumlah daya terbesar. Perangkat yang memiliki peringkat tegangan 5000 hingga 7000 V [13]. SCR banyak digunakan dalam industri karena harganya yang relatif murah dan pengontrolan yang mudah [14]. Gambar 1 memperlihatkan rangkaian SCR dasar.



Gambar 1. Rangkaian dasar SCR

Tegangan input ( $V_{in}$ ) yang dibutuhkan untuk memicu sebuah SCR adalah :

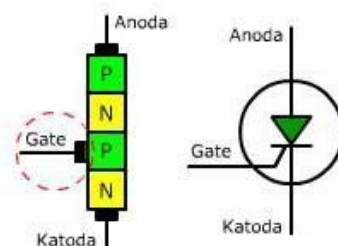
$$V_{in} = V_{GT} + I_{GT}R \quad (1)$$

dimana  $V_{GT}$  dan  $I_{GT}$  adalah tegangan dan arus pemicu *gate*. Setelah SCR dalam kondisi ON maka SCR akan tetap ON meskipun  $V_{in}$  dikurangi menjadi nol. Satu-satunya cara untuk *me-reset* SCR adalah dengan mengurangi  $V_{cc}$  ke nilai yang lebih rendah. Karena arus *holding* ( $I_H$ ) mengalir melalui hambatan beban ( $R_L$ ) sehingga tegangan catu ( $V_{cc}$ ) untuk kondisi OFF harus lebih kecil dari :

$$V_{cc} = 0.7 + I_H R_L \quad (2)$$

dimana  $I_H$  adalah arus *holding* yang mempertahankan SCR agar tetap ON

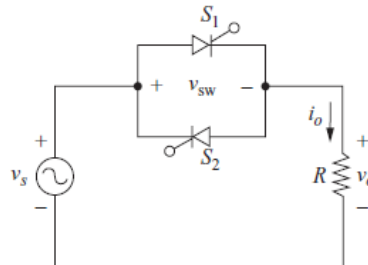
SCR memiliki tiga kaki yaitu anoda, katoda dan *gate* seperti pada Gambar 2. Pengaturan daya pada beban menggunakan SCR melalui arus *gate* ( $I_G$ ), yaitu apabila arus *gate* ( $I_G$ ) nilainya dibawah *holding current* ( $I_H$ ) maka SCR tersebut belum dapat mengalirkan arus dari anoda ke katoda sehingga arus tidak mengalir ke beban. Ketika  $I_G$  melebihi nilai  $I_H$  maka SCR akan mengalirkan arus ke beban.



Gambar 2. Kaki SCR

Pengontrol tegangan satu fasa ditunjukkan pada Gambar 3 Saklar elektronik ditampilkan sebagai SCR paralel. Susunan SCR ini memungkinkan arus mengalir pada beban di arah positif dan negatif.

Koneksi SCR ini disebut antiparalel atau paralel terbalik karena SCR membawa arus dalam arah yang berlawanan. [15]



Gambar 3. Rangkaian pengontrol tegangan satu fasa

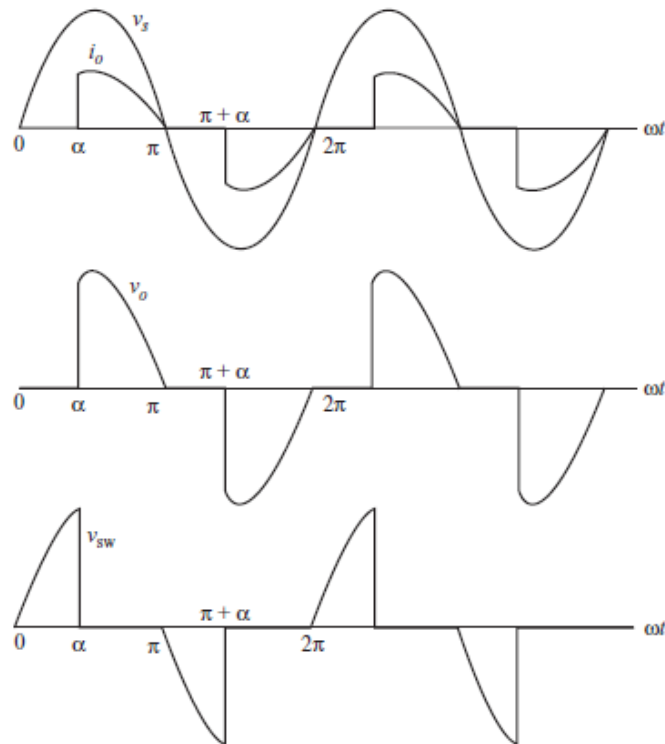
Dari Gambar 3, beberapa hal yang dapat diamati yakni:

- 1) SCR tidak dapat beroperasi secara bersamaan.
- 2) Tegangan beban sama dengan tegangan sumber saat salah satu SCR aktif. Tegangan beban nol ketika kedua SCR tidak aktif.
- 3) Tegangan saklar  $v_{sw}$  adalah nol saat salah satu SCR aktif dan sama dengan tegangan sumber saat keduanya tidak aktif.
- 4) Arus rata-rata di sumber dan beban adalah nol jika SCR aktif untuk interval waktu yang sama. Arus rata-rata di setiap SCR tidak nol karena arus SCR searah.
- 5) Arus rms di setiap SCR adalah 1 kali arus beban rms jika SCR aktif untuk interval waktu yang sama.

Pada Gambar 3, ketika SCR  $S_1$  dipicu pada kaki *gate* maka SCR  $S_1$  akan beroperasi sejak adanya pemacu tersebut dan akan terus aktif hingga setengah gelombang atau saat arus mencapai nol [16]. Ketika berada di siklus negatif maka SCR  $S_1$  akan memblokir arus yang melewati SCR.



Sebaliknya dengan SCR  $S_2$ , SCR ini memblokir arus yang melewati SCR pada siklus positif karena kedua SCR dirangkai paralel terbalik sehingga SCR  $S_2$  akan aktif ketika dipicu pada siklus negatif. [15]

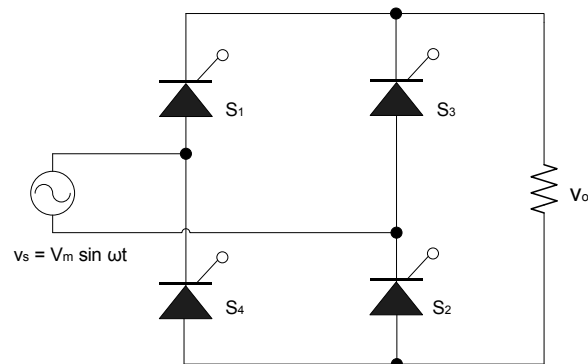


Gambar 4. Bentuk gelombang rangkaian pengontrol tegangan satu fasa

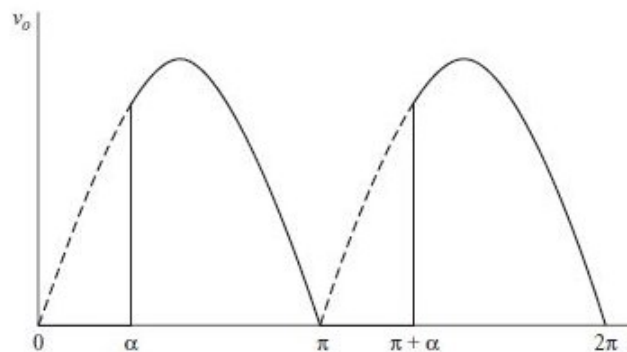
Gambar 4 menunjukkan bentuk gelombang tegangan untuk pengontrol tegangan satu fasa dengan beban resistif. Dari Gambar 4, SCR dapat mengontrol tegangan dengan mengontrol tegangan  $v_o$  dengan mengatur sudut penyalaan pada SCR [17].

Penyearah *full-wave* terkontrol ditunjukkan pada Gambar 5a. Untuk penyearah, SCR  $S_1$  dan  $S_2$  akan menjadi *forward-bias* ketika sumber positif tetapi tidak akan aktif sampai menerima sinyal pada kaki *gate*. Demikian

pula, S3 dan S4 akan menjadi *forward-bias* ketika sumber negatif tetapi tidak akan aktif sampai menerima sinyal pada kaki *gate*. Penyearah ini mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC dan menggunakan SCR sebagai komponen *switching* [15] [18]



(a)



(b)

Gambar 5. (a) Rangkaian jembatan gelombang penuh SCR (b) Tegangan keluaran dari beban

Bentuk gelombang tegangan keluaran untuk penyearah gelombang penuh terkontrol dengan beban resistif ditunjukkan pada Gambar 5b.

Tegangan rata-rata beban ditentukan dengan persamaan:

$$V_0 = \frac{V_m}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad (3)$$

Rata-rata arus pada beban adalah:

$$I_0 = \frac{V_m}{\pi R} (1 + \cos \alpha) \quad (4)$$

Arus beban resistif adalah

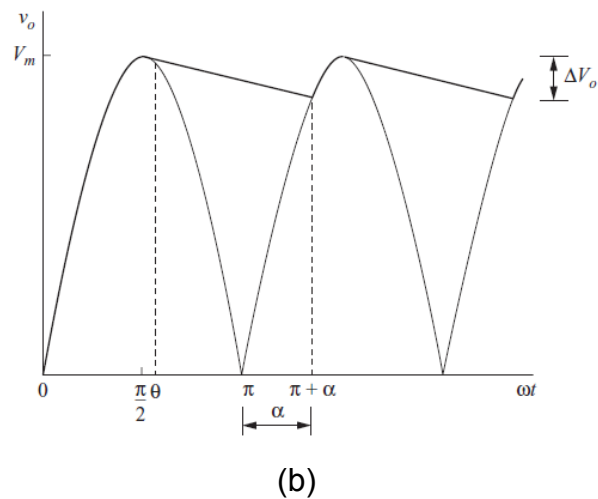
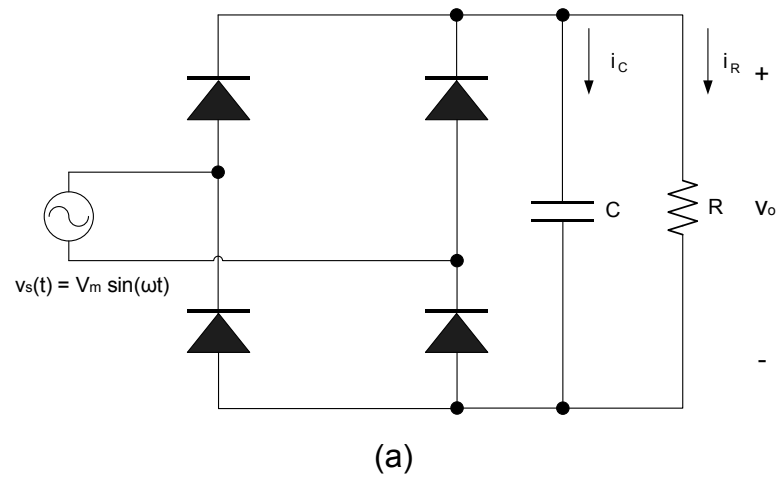
$$I_{rms} = \frac{V_m}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{4\pi}} \quad (5)$$

## B. Filter

### (1) Filter C

Menempatkan kapasitor yang memiliki nilai kapasitansi yang besar secara paralel dengan beban resistif dapat menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati dc murni seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Dalam rangkaian penyearah gelombang penuh, waktu yang dibutuhkan untuk pelepasan muatan pada kapasitor lebih kecil dari pada rangkaian penyearah setengah gelombang karena gelombang sinus yang disearahkan hanya pada paruh kedua setiap periode. Riak tegangan keluaran untuk penyearah gelombang penuh kira-kira setengah dari penyearah setengah gelombang. Tegangan keluaran puncak akan lebih kecil pada rangkaian gelombang penuh karena ada dua penurunan tegangan di dioda.

Analisis penyearah gelombang penuh sama seperti penyearah setengah gelombang. Tegangan keluaran adalah fungsi sinus positif ketika salah satu pasangan dioda sedang *forward* dan merupakan eksponensial jika *reverse bias*. Dengan asumsi dioda ideal,



Gambar 6. (a) Penyearah dengan filter C (b) gelombang tegangan input dan output

$$v_o(\omega t) = \begin{cases} |V_m \sin \omega t| \\ (V_m \sin \theta) e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} \end{cases} \quad (6)$$

di mana  $\theta$  adalah sudut di mana dioda menjadi *reverse bias*, yang sama untuk penyearah setengah gelombang.

$$\theta = \tan^{-1}(-\omega RC) = -\tan^{-1}(\omega RC) + \pi \quad (7)$$

Tegangan keluaran maksimum adalah  $V_m$ , dan tegangan keluaran minimum ditentukan dengan mengevaluasi  $v_o$  pada sudut di mana pasangan kedua dioda *forward*, yaitu pada  $\omega t = \pi + \alpha$ . Pada titik batas itu,

$$(V_m \sin \theta) e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} = -V_m \sin(\pi + \alpha)$$

atau

$$(\sin \theta) e^{-(\omega t - \theta)/\omega RC} - \sin \alpha = 0 \quad (8)$$

yang harus diselesaikan secara numerik untuk  $\alpha$ .

Variasi tegangan puncak-ke-puncak, atau riak, adalah perbedaan antara tegangan maksimum dan minimum.

$$\Delta V_0 = V_m - |V_m \sin(\pi + \alpha)| = V_m (1 - \sin \alpha) \quad (9)$$

Nilai  $\alpha$  lebih besar untuk penyearah gelombang penuh daripada penyearah setengah gelombang dan riaknya lebih kecil untuk beban yang sama.

Pada rangkaian di mana  $\omega RC \gg \pi$ .

$$\theta \approx \pi/2 \quad \alpha \approx \pi/2 \quad (10)$$

Tegangan keluaran minimum kemudian diperkirakan dari Persamaan (7). Untuk dioda yang *reverse bias* dapat dihitung pada  $\omega t = \pi$ .

$$v_o(\pi + \alpha) = V_m e^{-(\pi + \pi/2 - \pi/2)/\omega RC} = V_m e^{-\pi/\omega RC} \quad (11)$$

Tegangan riak untuk penyearah gelombang penuh dengan filter kapasitor kemudian dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$\Delta V_0 \approx V_m (1 - e^{-\pi/\omega RC}) \quad (12)$$

Selanjutnya, eksponensial dalam persamaan di atas diperoleh dengan persamaan:

$$e^{-\pi/\omega RC} \approx 1 - \frac{\pi}{\omega RC} \quad (13)$$

Mengganti eksponensial dalam pendekatan, riak puncak-ke-puncak yaitu dengan

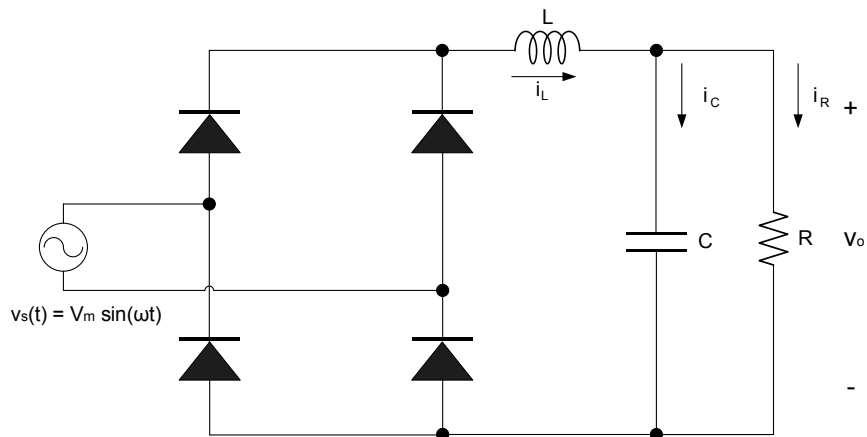
$$\Delta V_0 \approx \frac{V_m \pi}{\omega RC} = \frac{V_m}{2fRC} \quad (14)$$

## (2) Filter LC

Konfigurasi filter untuk penyearah gelombang penuh yaitu filter LC pada keluaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Tujuan dari filter adalah untuk menghasilkan tegangan keluaran yang mendekati dc murni. Kapasitor menahan tegangan keluaran pada tingkat yang konstan, dan induktor menghaluskan arus dari penyearah dan mengurangi arus puncak di dioda.

Tegangan  $v_0$  pada Gambar 7 adalah gelombang sinus yang disearahkan gelombang penuh, yang memiliki nilai rata-rata  $2V_m / \pi$ . Karena tegangan rata-rata yang melewati induktor dalam keadaan tunak adalah nol, tegangan keluaran rata-rata untuk arus induktor kontinu adalah

$$V_0 = \frac{2V_m}{\pi} \quad (15)$$



Gambar 7. Penyearah dengan filter LC

Arus induktor rata-rata harus sama dengan arus resistor rata-rata karena arus kapasitor rata-rata adalah nol.

$$I_L = I_R = \frac{V_0}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (16)$$

$$v_0(t) = V_0 + \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} V_n(n\omega_0 t + \pi) \quad (17)$$

dimana,

$$V_0 = \frac{2V_m}{\pi}$$

$$V_n = \frac{2V_m}{\pi} \left( \frac{1}{n-1} - \frac{1}{n+1} \right)$$

Variasi arus induktor dapat diperkirakan dari suku AC pertama dalam deret Fourier. Istilah tegangan AC pertama diperoleh dari Persamaan (17) dengan  $n=2$ . Dengan asumsi kapasitor menjadi *short circuit* pada saat periode AC, tegangan harmonik  $v_2$  ada di induktor. Amplitudo arus induktor untuk  $n = 2$  adalah

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_2} \approx \frac{V_2}{2\omega L} = \frac{4V_m / 3\pi}{2\omega L} = \frac{2V_m}{3\pi\omega L} \quad (18)$$

Agar arus selalu positif, amplitudo periode AC harus lebih kecil dari periode dc (nilai rata-rata). Menggunakan persamaan di atas dan menyelesaikan untuk L,

$$I_2 < I_L$$

$$\frac{2V_m}{3\pi\omega L} < \frac{2V_m}{\pi R}$$

$$L > \frac{R}{3\omega}, \text{ atau}$$

$$\frac{3\omega L}{R} > 1 \quad (19)$$

Jika  $3\omega L / R > 1$ , maka tegangan *output* yaitu  $2V_m / \pi$  [15].

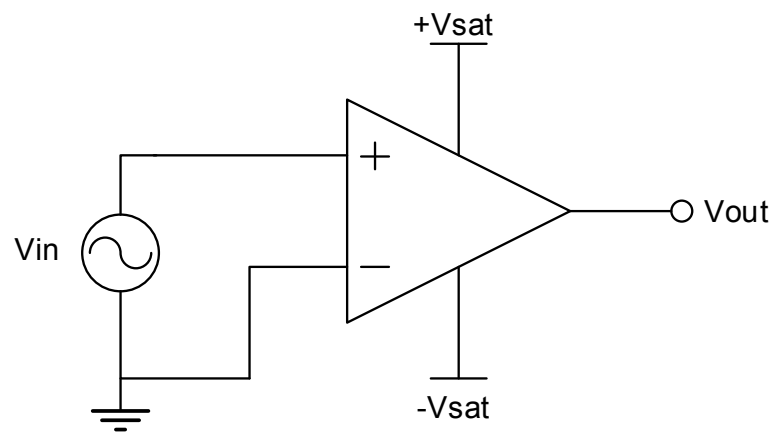
### C. Zero Crossing

Rangkaian *zero crossing* adalah komparator tegangan yang mengubah keluaran daya antara tegangan saturasi positif dan negatif atau tegangan saturasi batas atas dan bawah ketika input melintasi tegangan referensi nol. Dengan kata lain, komparator adalah penguat operasional dasar yang digunakan untuk membandingkan dua tegangan secara bersamaan dan mengubah *output* daya sesuai dengan perbandingan. Rangkaian *zero crossing* merupakan aplikasi dari rangkaian komparator. Rangkaian ini disebut juga sebagai konverter gelombang sinus ke persegi.



Untuk itu, salah satu dari pembanding pembalik/nonpembalik dapat digunakan sebagai detektor *zero crossing*.

Rangkaian *zero crossing* digunakan untuk menghasilkan gelombang layaknya saklar daya setiap kali input melintasi input referensi dan terhubung ke ground. *Output* komparator dapat menggerakkan berbagai *output* seperti indikator LED, relai, dan gerbang kontrol.

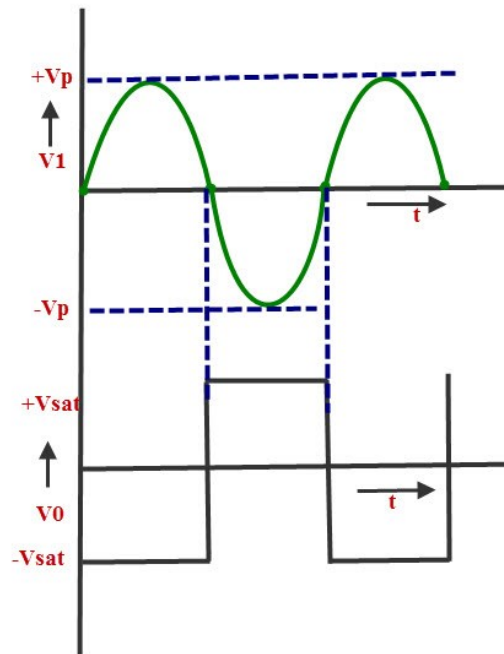


Gambar 8. Rangkaian dasar *zero crossing*

Tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) dengan tegangan input akan dibandingkan, oleh karena itu harus terdapat referensi nol ( $V_{ref} = 0V$ ) pada rangkain. Input berupagelombang sinus sebagai  $V_{in}$ . Rangkaian dasar zero crossing terdapat pada Gambar 8.

Seperti yang ditunjukkan pada bentuk gelombang pada Gambar 9 di bawah, untuk  $V_{ref}$  ketika gelombang sinus input melewati tegangan nol dan menuju ke arah positif. Tegangan *output* daya didorong ke saturasi negatif. Dengan cara yang sama, ketika  $V_{in}$  melewati nol dan menuju ke arah negatif,  $V_{out}$  didorong ke saturasi positif. Dioda pada rangkaian di atas

disebut sebagai *clamp diode*. Dioda ini digunakan untuk menjaga penguat operasional terhadap kerusakan akibat kenaikan  $V_{in}$ .



Gambar 9. Gelombang input dan *output*

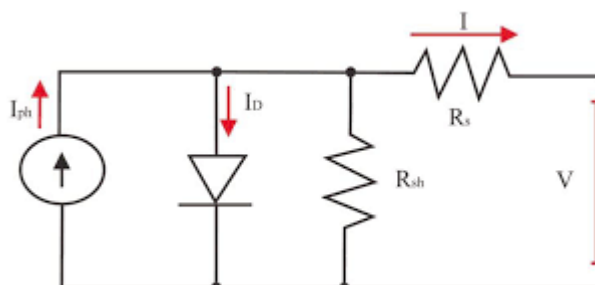
Dalam beberapa aplikasi tertentu,  $V_{in}$  dapat berupa gelombang frekuensi rendah yang menyebabkan gangguan pada waktu  $V_{in}$  melewati level nol. Hal tersebut dapat menyebabkan penundaan  $V_{out}$  untuk beralih di antara dua tingkat saturasi (saturasi atas dan bawah). Pada saat yang sama, *noise* pada input di IC dapat menyebabkan  $V_{out}$  beralih di antara tingkat saturasi. Jadi *zero crossing* diidentifikasi untuk tegangan *noise* selain  $V_{in}$ . Masalah-masalah ini dapat dihilangkan dengan menggunakan rangkaian umpan balik dengan umpan balik positif yang menyebabkan  $V_{out}$  beralih lebih cepat. Sehingga dapat menghilangkan kemungkinan kesalahan *zero crossing* karena tegangan *noise* pada input op-amp. [19]

#### D. Sel Surya

Fotovoltaik (selanjutnya disebut *photovoltaic*, PV) adalah perangkat yang mengonversi energi surya menjadi energi listrik. PV terdiri dari beberapa solar cell, yang tiap sel terhubung dengan lainnya secara seri atau paralel untuk membentuk deretan PV yang secara umum disebut modul PV. Efisiensi operasi maksimum sel solar tergantung pada titik operasi maksimum dari sistem PV. Dalam pengoperasiannya, kinerja PV sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi daerah setempat (suhu lingkungan dan radiasi Matahari) dan parameter listriknya (*short circuit current*, *open circuit voltage*, suhu sel PV, dan sebagainya).

Karakteristik sistem PV tidak linear yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. *Solar irradiation*, suhu dan kecepatan angin adalah faktor lingkungan utama yang mempengaruhi PV.

PV pada umumnya mempunyai hambatan parasitik seri dan hambatan paralel yang berpengaruh pada penurunan efisiensi, seperti ditunjukkan pada *Gambar 10*.



Gambar 10. Rangkaian ekuivalen PV

Arus yang dihasilkan dari rangkaian ekuivalen PV tersebut:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rsh} \quad (20)$$

Perubahan radiasi matahari menyebabkan pergeseran kurva PV dan perubahan temperatur memicu perubahan tegangan dan arus *output* dari PV [20]:

$$\frac{I_{rr}}{I_{ph}} = [I_{sc} + K_i(T_c - T_r)]1000 \quad (21)$$

$I_{rr}$  = radiasi matahari ( $W/m^2$ )

$K_i$  = koefisien perubahan arus setiap  $^{\circ}C$ ,

$T_r$  = Temperatur referensi ( $^{\circ}K$ )

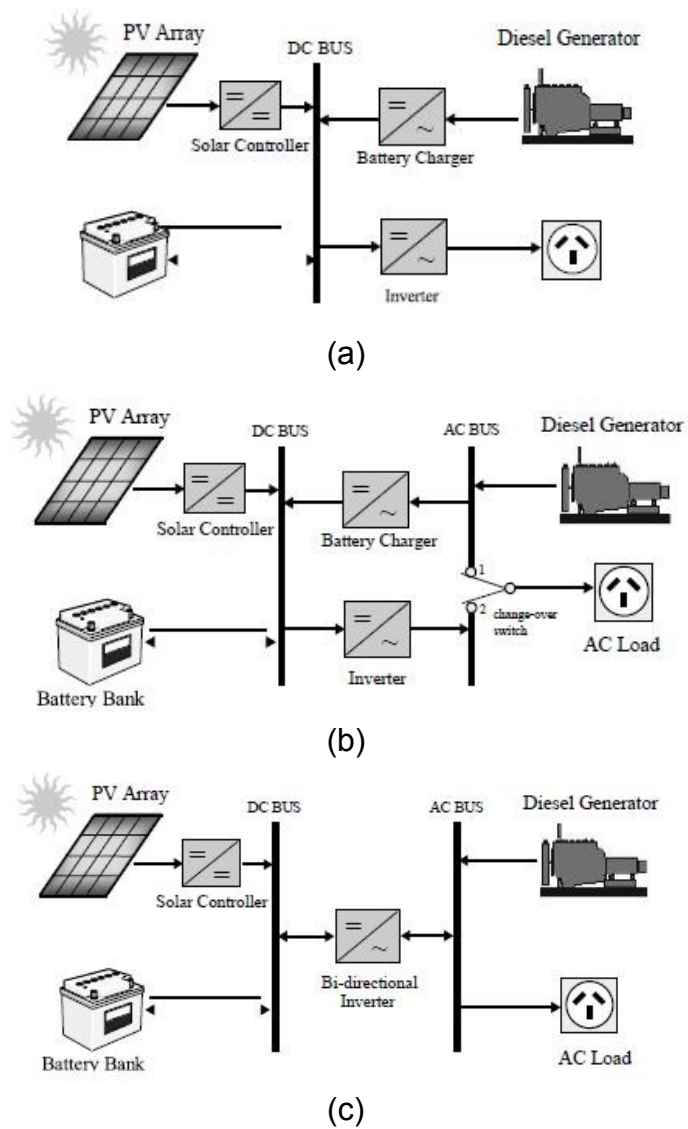
Daya yang dihasilkan PV dimodelkan dengan persamaan [6]:

$$P_{PV} = \eta_{PV} S_{PV} I_{rr} \quad (22)$$

Dimana  $\eta_{PV}$  merepresentasikan konversi energi dari PV,  $S_{PV}$  adalah area PV.

PV dapat dikonfigurasi dengan sumber energi yang lain misalnya pada diesel menghasilkan listrik ac dengan menggabungkan susunan PV dengan inverter, yang dapat beroperasi secara bergantian atau paralel dengan generator yang digerakkan oleh mesin konvensional. Konfigurasi dari sumber hibrida tersebut dapat diklasifikasikan menurut konfigurasinya (Gambar 11) sebagai berikut [21]:

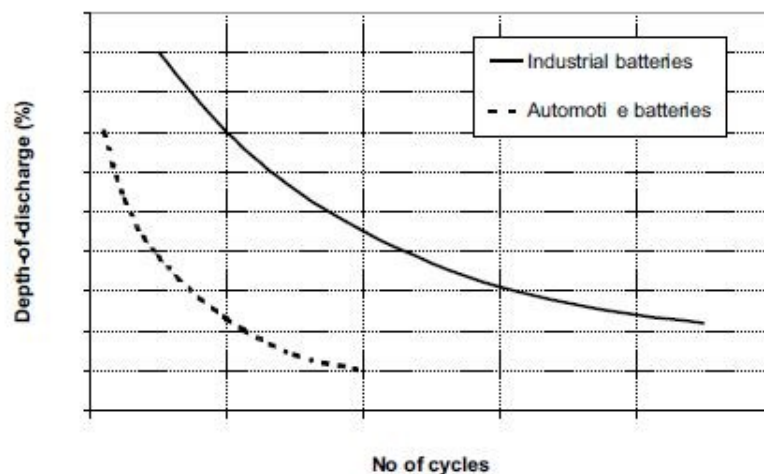
- 1) Sistem energi hibrida seri
- 2) Sistem energi hibrida *switch*
- 3) Sistem energi hibrida paralel



Gambar 11. Konfigurasi (a) seri (b) switch (c) paralel

### E. Baterai

Sistem energi PV memerlukan penyimpanan untuk memenuhi kebutuhan energi selama periode radiasi matahari rendah dan malam hari. Beberapa jenis baterai tersedia, seperti baterai timbal-asam, nikel-kadmium, litium, seng bromida, seng klorida, natrium-belerang, nikel-hidrogen, redoks, dan baterai vanadium. Baterai timbal-asam biasanya digunakan untuk menjamin penyimpanan energi beberapa jam hingga beberapa hari. Biaya yang relatif murah dan ketersediaannya yang banyak mengakibatkan penggunaan baterai timbal-asam secara luas untuk pasokan listrik meskipun masa pakainya terbatas dibandingkan dengan komponen sistem lainnya.



Gambar 12. *depth-of-discharge* pada baterai

Produsen baterai menentukan jumlah nominal siklus pengisian dan pemakaian lengkap sebagai fungsi *depth-of-discharge* (DOD), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Meskipun informasi ini dapat digunakan

untuk memprediksi masa pakai baterai, biasanya menghasilkan perkiraan yang berlebihan tentang masa pakai baterai dalam sistem energi terbarukan. Dua faktor utama yang mempengaruhi pengurangan masa pakai baterai adalah pengisian daya yang tidak selesai dan pengoperasian yang lama pada kondisi pengisian (*state of charge*, SOC) [21].

SOC baterai timbal-asam diperkirakan menggunakan estimasi penghitungan Coulomb yang didasarkan pada pengukuran arus pengisian dan pemakaian [6]:

$$soc(t+1) = \begin{cases} soc(t) + \eta_{bat} I_{bat}(t) \frac{\Delta t}{C}, & charging \\ soc(t) - I_{bat}(t) \frac{\Delta t}{C}, & discharging \end{cases} \quad (23)$$

dimana  $soc(t+1)$  merepresentasikan keadaan muatan pada waktu  $(t+1)$ ,  $soc(t)$  keadaan muatan pada waktu  $(t)$ ,  $\eta_{bat}$  adalah efisiensi baterai dalam mode pengisian,  $I_{bat}$  adalah arus aki (arus positif untuk pengisian, arus negatif untuk pemakaian), dan  $C$  kapasitas maksimum baterai.

Daya pada baterai dituliskan dengan persamaan:

$$P_B(t) = \frac{E_B(t) - E_B(t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (24)$$

Dimana  $P_B$  merepresentasikan tingkat pengisian/pemakaian baterai,  $E_B$  adalah energi yang disimpan dalam baterai, dan  $\Delta t$  adalah waktu sampling [6].

## F. State of Art Penelitian

Tabel 2. *State of art* penelitian

Penulis	Judul	Tahun	Ulasan	Ref
SangCheol Moon BongGeun Chung Gwanbon Koo Jason Guo Laszlo Balogh	<i>A Conduction Band Control AC-DC Buck Converter for a High Efficiency and High Power Density Adapter</i>	2017	Merancang konverter Buck AC-DC dengan metode <i>Conduction Band Control</i> untuk menurunkan rugi-rugi dari <i>switching</i> MOSFET dan meningkatkan efisiensi pada <i>output</i> . Kemudian dilakukan verifikasi pada prototype 60W yang menunjukkan efisiensi yang lebih baik pada input AC tegangan tinggi dan pada kondisi beban rendah jika dibandingkan rangkaian konvensional dengan efisiensi 92.16%.	[22]



Penulis	Judul	Tahun	Ulasan	Ref
Sung-Ho Lee Min-Jae Kim	<i>High Efficiency Isolated Resonant PFC Converter for Two-stage AC-DC Converter with Enhanced Performance</i>	2019	Merancang konverter AC-DC dengan <i>Isolated Resonant</i> PFC dengan 2 tahap konverter. Efisiensi konverter dengan beban 1kW mencapai 96.7%	[23]
Siliang Zhang Guixing Lan Zezheng Dong Xinke Wu	<i>A High Efficiency two-stage ZVS AC/DC converter with all SiC MOSFET</i>	2017	Merancang Konverter AC-DC dua tahap yang diterapkan pada pengisian daya kendaraan listrik dengan menggunakan <i>Zero Voltage Switched (ZVS) Control</i> dan menggunakan MOSFET SiC untuk mengurangi kerugian konduksi dan switching serta mencapai frekuensi <i>switching</i> tinggi. Efisiensi prototipe konverter 1.1kW mencapai 99%	[24]
Shixiang Zhou	<i>Study of Control and Efficiency of AC-DC Converter</i>	2010	Merancang konverter AC-DC 2 tahap dengan rangkaian Zero-Voltage-Switched (ZVS) asymmetrical halfbridge	[25]

Penulis	Judul	Tahun	Ulasan	Ref
			(AHB) PWM converter sebagai konverter DC-DC. Efisiensi konverter AC-DC sebesar 92.0% dengan maksimum daya tanpa beban 0.74W dan beban maksimum konverter 90W	
Bilawal A. Bhayoa Hussain H. Al-Kayiema Syed I.U. Gilani Firas B. Ismail	<i>Power management optimization of hybrid solar photovoltaic-battery integrated with pumped-hydro-storage system for standalone electricity generation</i>	2020	Menggunakan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) dalam pengoptimalan manajemen energi sistem energi terbarukan hibrida mandiri (fotovoltaik-pumped hydro) untuk memberi daya pada rumah 3,032 kWh/ hari	[5]
Imen Guidara Anoir Souissi Maher Chaabene	<i>Novel configuration and optimum energy flow management of a grid-connected photovoltaic battery installation</i>	2020	Menggunakan <i>Energy Management Algorithms</i> (EMA) untuk mengelola aliran energi dari instalasi baterai, fotovoltaik, dan <i>grid</i> dan meminimalisir konsumsi daya dari <i>grid</i> . Diimplementasikan dalam konsumsi 5 kVA, 10 kVA,	[6]

Penulis	Judul	Tahun	Ulasan	Ref
			dan 17 kVA. Hasil pengujian dengan EMA dari tiga kasus tersebut menunjukkan tingkat konsumsi daya dari baterai dan fotovoltaik yang tinggi dan penggunaan daya dari <i>grid</i> berkurang	
Kanzumba Kusakana	<i>Optimal operation control of a grid-connected photovoltaic-battery hybrid system</i>	2016	Menggunkan penjadwalan daya yang optimal selama 24 jam dengan metode <i>Demand Side Management</i> (DSM) dalam mengatur aliran daya sistem hybrida fotovoltaik-baterai yang terhubung ke <i>grid</i> untuk meminimalkan biaya listrik. Pengujian dilakukan menggunakan simulasi pada MATLAB	[7]

Penulis	Judul	Tahun	Ulasan	Ref
Ruoli Tang Zhou Wu Xin Li	<i>Optimal power flow dispatching of maritime hybrid energy system using model predictive control</i>	2018	Menggunakan metode <i>Model Predictive Control</i> (MPC) untuk mengatur aliran daya pada kapal ketika terparkir di pelabuhan dengan sumber energi dari fotovotai, baterai, daya dari daratan ( <i>Onshore power</i> ) dan diesel. Hasil simulasi dari metode ini menunjukkan penghematan biaya dalam penggunaan energi selama pengujian 72 jam	[8]
Kiki Kananda Refdinal Nazir	Konsep Pengaturan Aliran Daya untuk PLTS Tersambung ke Sistem <i>Grid</i> pada Rumah Tinggal	2013	Merancang sistem PLTS- <i>grid</i> tanpa baterai. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan Simulink Matlab pada beban 300W, sistem PLTS dapat bekerja dengan kekurangan daya disuplai dari <i>grid</i> .	[20]

Beberapa metode dalam mengontrol aliran daya telah diuji dan disimulasikan seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO) [5], *Energy Management Algorithms* (EMA) [6], *Modified Dragonfly Algorithm* (MDA) dan *Bat Search Algorithm* (BSA) [10], dan lain sebagainya. Metode tersebut disimulasikan pada berbagai jenis kombinasi sumber energi hibrida, mulai dari dua sampai lima jenis sumber energi.

Penelitian yang akan dilakukan akan mengatur aliran daya PLTS yang terhubung ke *grid* dengan media penyimpanan berupa baterai. Penelitian [5,6,7,9] menggunakan kombinasi serupa atau dengan tambahan sumber energi yang lain. Penelitian [5,6,7,9,20] memiliki konfigurasi yang sama pada susunan fotovoltaik dan *grid* yakni tersusun secara paralel dan penelitian tersebut bersifat simulasi. Pada penelitian yang akan dilakukan fotovoltaik dan *grid* terhubung secara serial.

Pada penelitian ini, untuk memaksimalkan daya pada fotovoltaik dan baterai dirancang rangkaian untuk mengatur aliran daya pada *grid*. Rangkaian tersebut mengatur daya yang disuplai dari *grid* ke beban dan menahan daya apabila fotovoltaik dan baterai dapat memenuhi daya pada beban. Rangkaian pengaturan aliran daya pada *grid* terdiri atas rangkaian *full-wave* SCR, filter, dan *zero crossing*. Pengaturan daya pada rangkaian dengan mengatur sudut penyalan SCR pada *full-wave* SCR.