

**IMPLEMENTASI SEPIC KONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DALAM MEMPERTAHANKAN
STABILITAS TEGANGAN KELUARAN MENGGUNAKAN METODE
*ZIEGLER – NICHOLS***

(Skripsi)

Oleh:

Dona Eliza

2115031020



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

**IMPLEMENTASI SEPIC KONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DALAM MEMPERTAHANKAN
STABILITAS TEGANGAN KELUARAN MENGGUNAKAN METODE
*ZIEGLER – NICHOLS***

(Skripsi)

Oleh:

DONA ELIZA



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

IMPLEMENTASI SEPIC KONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DALAM MEMPERTAHANKAN STABILITAS TEGANGAN KELUARAN MENGGUNAKAN METODE *ZIEGLER – NICHOLS*

Oleh:

DONA ELIZA

Perubahan aliran air pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menyebabkan tegangan keluaran generator menjadi berfluktuatif. Untuk mengatasi permasalahan ini, digunakan DC -DC konverter jenis *Single-Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) yang mampu mengatur tegangan keluaran tetap stabil, baik ketika lebih tinggi maupun lebih rendah dari tegangan masukan. Sistem kontrol *loop* tertutup diterapkan pada konverter SEPIC konverter untuk menjaga kestabilan tegangan secara *real-time* melalui umpan balik tegangan. Pengendalian dilakukan menggunakan metode *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dengan penalaan parameter berdasarkan metode *Ziegler-Nichols*. Hasil implementasi kontrol PID dengan nilai parameter $K_p = 12$, $K_i = 12$, dan $K_d = 3$ memberikan kestabilan sistem yang meningkat dibandingkan tanpa pengendali, dengan *rise time* selama 0.63 detik dan rata – rata *settling time* selama 2.90 detik, *overshoot* maksimum sebesar 5,22%, *undershoot* maksimum sebesar 7,02%, dan *error steady state* sebesar 0,155%. Pengujian dilakukan dengan beban lampu DC sebesar 10 Watt, 20 Watt, dan 30 Watt menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kestabilan tegangan terhadap perubahan beban.

Kata Kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro, SEPIC Konverter, Kontrol PID

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF SEPIC CONVERTER IN PICOHYDRO POWER PLANT IN MAINTAINING OUTPUT VOLTAGE STABILITY USING ZIEGLER - NICHOLS METHOD

By:

DONA ELIZA

Changes in water flow at the Pico Hydro Power Plant (PLTPH) cause the generator output voltage to fluctuate. To address this issue, a DC-DC converter of the Single-Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) type is used, which can maintain a stable output voltage, whether it is higher or lower than the input voltage. A closed-loop control system is applied to the SEPIC converter to maintain voltage stability in real-time through voltage feedback. Control is performed using the Proportional-Integral-Derivative (PID) method with parameter tuning based on the Ziegler-Nichols method. The implementation of PID control with parameter values $K_p = 12$, $K_i = 12$, and $K_d = 3$ resulted in improved system stability compared to without a controller, with a rise time of 0.63 seconds and an average settling time of 2.90 seconds, a maximum overshoot of 5.22%, a maximum undershoot of 7.02%, and a steady-state error of 0.155%. Testing was conducted with DC lamp loads of 10 Watts, 20 Watts, and 30 Watts, showing that the system can maintain voltage stability in response to load changes

Keyword :Picohydro Power Plant, SEPIC converter, PID Control

**IMPLEMENTASI SEPIC KONVERTER PADA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DALAM MEMPERTAHANKAN
STABILITAS TEGANGAN KELUARAN MENGGUNAKAN METODE
*ZIEGLER – NICHOLS***

Oleh:

DONA ELIZA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Skripsi

: IMPLEMENTASI SEPIC KONVERTER PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
PIKOHIDRO (PLTPH) DALAM
MEMPERTAHAKAN STABILITAS
TEGANGAN KELUARAN MENGGUNAKAN
METODE ZIEGLER - NICHOLS

Nama Mahasiswa : DONA ELIZA

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031020

Jurusan : Teknik Elektro

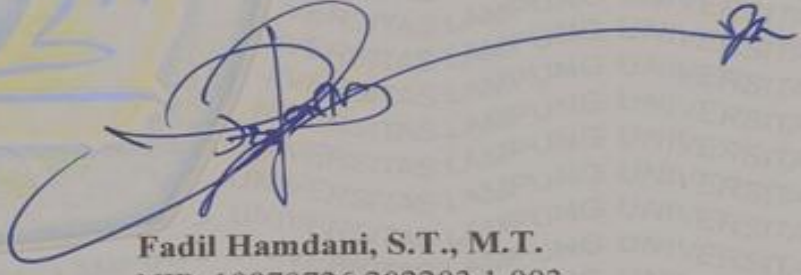
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP. 19631114 199903 1 001

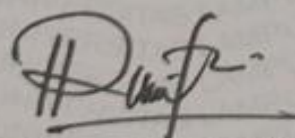


Fadil Hamdani, S.T., M.T.
NIP. 19870726 202203 1 003

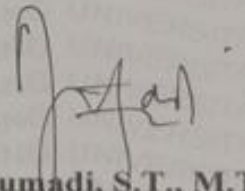
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001



Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

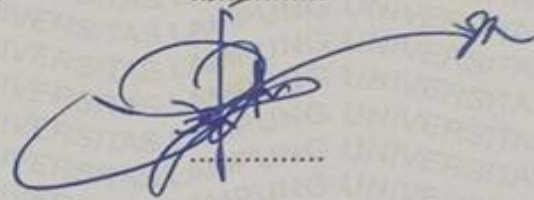
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.

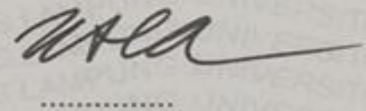


Sekretaris : Fadil Hamdani, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Osea Zebua, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 12 Juni 2025



Dona Eliza
NPM 2115031020

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting pada tanggal 26 Mei 2003, sebagai anak ke-1 dari 1 bersaudara, dari pasangan Bapak Hermanto dan Ibu Erna Wati. Riwayat Pendidikan penulis dimulai di Pendidikan Taman Kanak – Kanak (TK) Dharma Wanita pada Tahun 2008 hingga 2009. Pendidikan Dasar (SD) di SDN 1 Gisting Atas pada tahun 2009 hingga 2015, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTs Mathla’ul Anwar pada tahun 2015 hingga 2018, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Sumberejo pada 2018 hingga 2021. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik dari tahun 2023 dan berkesempatan menjadi asisten Praktikum Dasar Tenaga Listrik, Mesin – Mesin Listrik dan Elektronika Daya pada Tahun 2024. Selain itu, penulis juga tergabung dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai anggota Departemen Komunikasi dan Informasi pada tahun 2022 dan anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan pada tahun 2023. Penulis sempat melaksanakan kerja praktik di PT. Semen Baturaja Tbk. dalam devisi *Electrical and Instrument Maintanance* dan melanjutkan membuat laporan yang berjudul “ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM KERJA MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN DOL STARTING DAN VARIABLE FREQUENCY DRIVE (VFD) PADA AREA PACKING DAN LOADING DI PT SEMEN BATURAJA TBK” tahun 2024

**“Saya Persembahkan dan Saya dedikasikan
Skripsi ini untuk Kedua Orang Tua saya,
Ayahanda Hermanto dan Ibunda Erna Wati yang
memberikan semua hal terbaik demi anaknya
untuk mencapai kesuksesan”**

Serta

Keluarga Besar, Dosen, Teman dan Almamater

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya”

(Q.S. Al – Baqarah : 286)

“Angin tidak berembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya”

(Ali bin Abi Thalib)

“Orang tua dirumah menanti kepulanganmu dengan hasil yang membanggakan, jangan kecewakan mereka, simpan keluhmu, sebab letihmu tak sebanding dengan perjuangan mereka menghidupimu”

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi SEPIC Konverter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Dalam Mempertahankan Stabilitas Tegangan Keluaran Menggunakan Metode *Ziegler – Nichols*”. Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat, kekuatan, dan kesehatan yang diberikan sepanjang proses sehingga dapat menyelesaikan Skripsi.
2. Teruntuk kedua orang tua penulis, Bapak Hermanto dan Ibu Erna Wati, terima kasih tiada terhingga penulis sampaikan atas cinta kasih, arahan, dukungan, doa dan segala pengorbanan serta ketulusan yang diberikan. Beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan bangku perkuliahan, namun mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik hingga penulis mampu menyelesaikan studinya. Besar harapan penulis semoga Bapak dan Ibu sehat, panjang umur, dan diberikan keberkahan hidup.
3. Teruntuk keluarga besar Bapak Ngadiran dan Bapak Rimin yang senantiasa memberikan perhatian, dukungan, dan doa yang tulus sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.

5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
8. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis di setiap kesempatannya.
9. Bapak Fadil Hamdani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu, memberikan arahan, dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis di setiap kesempatannya.
10. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran, kritik, serta motivasi yang berharga kepada penulis dalam penyelesaian Skripsi ini.
11. Bapak Dr. Eng., Ir., Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., I.P.M. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
12. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran, bimbingan serta arahan selama perkuliahan.
13. Staf administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
14. Teruntuk Ananda Saputri, Jefri Prayoga, dan Luki Nurmalik sahabat seperjuangan bimbingan skripsi, terima kasih atas dukungan dan kebersamaannya mulai dari kerja praktik hingga penyelesaian skripsi. Dukungan dan bantuan yang diberikan kepada penulis sangat berarti dalam menyelesaikan berbagai tantangan selama proses ini.
15. Teruntuk Serly Ulya, Mahendra Panca, Eikel Suranta, Fawwaz Islam keluarga Kuliah Buat Lulus terima kasih telah menjadi sahabat dan keluarga selama

menjalani dunia perkuliahan yang memberikan motivasi, dukungan, dan pengalaman kepada penulis.

16. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Mbak Ani, Kak Saka, Kak Alfin, Ruli, Siti, Benyamin, Daniel, Alex, Marhadi, Bimo, Deni. Serta asisten Lab KEE 2022 Septa, Aditio, Satriawan, Novian, Emil, Bani, Fina, Muti, Ayu, Krisna, Humam dan Jopen. Terima kasih atas bantuan, ilmu, pengalaman yang dibagikan kepada penulis.
17. Rekan – Rekan Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik 2021, Rijal, Unedo, Rika, Bella, Dinda, Bagus, Imam, Jaya, Rizman, Jamed atas bantuan dan motivasi yang diberikan selama perkuliahan.
18. Teruntuk Sandra, Yunita, Melani, Nadila, Angggita, Andi, Hikmal, David sabahat yang telah kebersamai sejak SMA terima kasih atas dukungan, motivasi, dan doa yang diberikan kepada penulis.
19. Segenap Keluarga Besar EXCALTO 2021 yang telah kebersamai dan menjadi keluarga bagi penulis.
20. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) atas pengalaman dan pembelajaran selama ini.
21. Semua pihak yang telah membantu penulis dari awal perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar menjadi tulisan yang lebih baik lagi. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 12 Juni 2025

Dona Eliza

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika Penulisan.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)	10
2.3 Turbin	12
2.3.1 Turbin Pelton.....	12
2.3.2 Turbin Francis	13
2.3.3 Turbin Kaplan.....	13
2.4 Generator DC	14
2.4.1 Generator DC <i>Shunt</i>	15
2.4.2 Generator Seri	16
2.4.3 Generator Kompon.....	16

2.5	DC – DC Konverter	17
2.5.1	Buck – Boost Konverter.....	18
2.5.2	SEPIC Konverter.....	19
2.6	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	21
2.7	Arduino UNO R3	23
2.8	Sensor Tegangan	23
2.9	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	24
2.10	<i>Gate Driver</i>	25
2.11	Kontroler PID.....	26
2.12	Metode Ziegler – Nichols.....	28
III.	METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.2	Alat dan Bahan.....	31
3.2.1	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	31
3.2.2	Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	32
3.3	Tahapan Penelitian	32
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	34
3.5	Diagram Blok Sistem	35
3.6	Diagram Blok Kontrol.....	36
3.7	Perancangan SEPIC Konverter	36
3.8	Perancangan <i>Gate Driver</i>	41
3.9	Penentuan Parameter Pengendali PID.....	43
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran.....	46
	DAFTAR PUSTAKA.....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Turbin Pelton.....	12
Gambar 2. 2 Turbin Francis	13
Gambar 2. 3 Turbin Kaplan.....	14
Gambar 2. 4 Generator DC	14
Gambar 2. 5 Rangkaian Ekivalen Generator DC Shunt.....	16
Gambar 2. 6 Rangkaian Ekivalen Generator DC Seri.....	16
Gambar 2. 7 Rangkaian Ekivalen Generator DC Kompon Komulatif.....	17
Gambar 2. 8 Topologi Buck – Boost Konverter.....	18
Gambar 2. 9 Topologi SEPIC Konverter	19
Gambar 2. 10 Rangkaian SEPIC Konverter Saat Q on.....	20
Gambar 2. 11 Rangkaian SEPIC Konverter Saat Q off	21
Gambar 2. 12 Pembangkitan Sinyal PWM	21
Gambar 2. 13 Sinyal PWM.....	22
Gambar 2. 14 Arduino UNO R3	23
Gambar 2. 15 Modul Sensor Tegangan.....	24
Gambar 2. 16 Liquid Crystal Display	25
Gambar 2. 17 HCPL3120.....	26
Gambar 2. 18 Diagram Blok Kontrol PID	26
Gambar 2. 19 Kurva Respon Sistem Pengendalian PID	28
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem	35
Gambar 3. 3 Diagram Sistem Kontrol.....	36
Gambar 3. 4 Rangkaian SEPIC Konverter.....	36
Gambar 3. 5 Rangkaian Gate Driver.....	42
Gambar 3. 6 Kurva Sistem Respon Osilasi.....	43

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Metode <i>Ziegler - Nichols</i> dengan Kurva Reaksi	29
Tabel 2. 2 Metode <i>Ziegler - Nichols</i> dengan Metode Osilasi.....	30
Tabel 3. 1 Parameter Awal Perancangan SEPIC Konverter	37
Tabel 3. 2 Spesifikasi Komponen SEPIC Konverter	41
Tabel 3. 3 Metode Osilasi <i>Ziegler - Nichols</i>	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang digunakan sebagai energi alternatif yang persediaannya melimpah di alam. Energi terbarukan dapat diubah menjadi berbagai bentuk energi lainnya untuk memenuhi kebutuhan pada masyarakat. Penelitian mengenai energi terbarukan telah banyak dilakukan yang meliputi pemanfaatan sumber energi seperti angin, matahari, dan air. Indonesia memiliki potensi yang melimpah dalam berbagai jenis sumber energi terutama yang berkaitan dengan sumber energi air yang dijadikan sebagai sumber daya berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu pemanfaatan sumber energi air untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia adalah melalui pembangkit listrik tenaga air yang mampu mengubah energi potensial air menjadi energi listrik [1].

Terdapat banyak wilayah di Indonesia yang memiliki sumber air yang berlimpah, namun dengan aliran air yang kecil sehingga kurang sesuai untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memiliki skala besar. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik yang digunakan untuk sumber air dengan aliran kecil yang dapat menjadi solusi dan dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber energi listrik [2].

Untuk mengoptimalkan kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) diperlukan perangkat elektronik yang dapat menstabilkan tegangan keluaran dari generator. Hal ini dikarenakan fluktuasi aliran air yang menyebabkan tegangan menjadi

tidak stabil. Konverter DC -DC sebagai rangkaian penyaluran elektronik berfungsi mengubah sumber tegangan searah menjadi tegangan DC dengan besar tegangan yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan.

Single – Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) adalah salah satu jenis konverter DC – DC yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau kecil dari tegangan sumber tergantung pada pengaturan *duty cycle* dari kontrol MOSFET. Konverter ini mempertahankan polaritas tegangan keluaran yang sama dengan tegangan masukan (*non – inverting*) sehingga cocok untuk kestabilan tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) [3].

Kontrol loop tertutup pada SEPIC konverter digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan karena sistem mampu mendeteksi perubahan beban secara *real – time*. Dengan adanya umpan balik tegangan maka sistem dapat secara otomatis mengoreksi sinyal kontrol untuk mencapai tegangan yang diinginkan dengan presisi yang tinggi. Metode *Ziegler - Nichols* merupakan salah satu penalaan yang ada pada pengendalian PID (*Proportional – Integral – Derivative*). Dengan menggunakan metode *Ziegler – Nichols* parameter K_p , K_i , dan K_d pada pengontrolan PID dapat ditentukan secara efisien karena pendekatannya yang lebih terstruktur dan dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan metode *trial & error* yang memerlukan banyak percobaan [4].

Berdasarkan penelitian terdahulu [A] dengan judul “*Modeling and Simulation of SEPIC Controlled Using PID Controller*” oleh Salam Ibrahim Khather dan Muhammed A. Ibrahim membahas bagaimana merancang SEPIC dan menentukan nilai – nilai setiap komponen yang kemudian akan dikontrol menggunakan PID melalui penalaan Bat Algorithm (BA). Pada penelitian ini, ditinjau bagaimana respon sistem ketika SEPIC konverter dalam keadaan terkendali dengan kontrol PID dan SEPIC konverter tanpa pengendalian. Dengan pengendalian PID dapat mengoptimalkan tegangan keluaran yang lebih stabil sesuai dengan setpoint.

Berdasarkan penelitian terdahulu [B] dengan judul “Implementasi Kontrol PID untuk Pengaturan Tegangan pada Plant Mikrohidro” oleh Moch Dani Darmawan, Yulianto, dan Ari Murtono membahas mengenai pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang tegangan keluarannya telah diubah oleh penyearah menjadi tegangan DC. Tegangan keluaran dari penyearah dikendalikan menggunakan rangkaian *buck – boost* tipe SEPIC konverter untuk menghasilkan tegangan yang sesuai dengan nilai *setpoint* yang ditentukan. Pengendalian tegangan pada konverter SEPIC dilakukan dengan metode kontrol PID karena mampu memberikan respons cepat terhadap perubahan beban. Namun metode penalaan yang digunakan adalah *trial & error* sehingga memerlukan waktu yang relatif lama dalam menentukan parameter kontrol PID.

Berdasarkan kedua penelitian [A] dan [B] menjadi landasan dasar untuk melakukan sebuah penelitian dengan judul “Implementasi SEPIC Konverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTPH) dalam Mempertahankan Stabilitas Tegangan Keluaran Menggunakan Metode *Ziegler – Nichols*”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang SEPIC konverter untuk stabilitas tegangan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan pengendali PID.
2. Bagaimana menentukan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d pada pengendali PID menggunakan metode *Ziegler – Nichols*.
3. Bagaimana respon tegangan keluaran SEPIC konverter dengan kendali PID dalam menghadapi perubahan beban.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Analisa pengujian difokuskan pada stabilitas tegangan keluaran dari Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan menggunakan SEPIC konverter tanpa membahas parameter lain seperti harmonisa.
2. Penelitian ini menggunakan kontrol PID (*Proportional – Integral – Derivative*) untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran pada SEPIC konverter yang dialirkan dari generator Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).
3. Menggunakan lampu DC sebagai beban dalam menganalisis stabilitas tegangan keluaran dengan menganalisis respon sistem kontrol PID saat terjadi perubahan beban, *rise time, settling time, overshoot, undershoot*, dan *steady state error*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun SEPIC konverter dengan menggunakan pengendali PID untuk stabilitas tegangan keluaran PLTPH.
2. Menentukan konstanta parameter K_p , K_i , dan K_d pada pengendali PID menggunakan metode *Ziegler – Nichols*.
3. Mengetahui respon tegangan keluaran SEPIC konverter dengan kendali PID dalam menghadapi perubahan variasi beban.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dihasilkannya sebuah konverter DC-DC yaitu SEPIC konverter dengan pengendalian PID untuk menjaga stabilitas tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).

2. Mendapatkan nilai konstanta K_p , K_i , dan K_d sebagai parameter kontrol PID untuk mengoptimalkan kinerja SEPIC konverter dalam menjaga stabilitas tegangan.
3. Dapat mengurangi fluktuasi tegangan akibat perubahan *input* dari aliran air dan beban yang dikendalikan oleh kontrol PID.

1.6 Hipotesis

Implementasi pengendalian PID dengan metode *Ziegler – Nichols* pada SEPIC konverter mampu menstabilkan tegangan keluaran dari generator DC pada pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan variasi beban sehingga meningkatkan efisiensi sistem dalam memanfaatkan potensi energi terbarukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai teori – teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan yang diperoleh dari sumber buku, jurnal, datasheet ataupun penelitian ilmiah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta metode penelitian yang diusulkan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil perancangan dan proses pengambilan data, serta analisis hasil yang didapatkan saat penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan yang telah diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan dan memuat saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Implementasi Kontrol PID untuk Pengaturan Tegangan pada *Plant* Mikrohidro

Penelitian ini berjudul Implementasi Kontrol PID untuk Pengaturan Tegangan pada *Plant* Mikrohidro [5]. Penelitian ini membahas mengenai pemanfaatan energi terbarukan yaitu tenaga air yang dimanfaatkan sebagai penggerak turbin yang menghasilkan energi mekanik yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik melalui generator. Namun, tegangan keluaran dari generator DC tidak stabil untuk digunakan pada beban yaitu lampu DC 12V maka digunakannya *buck – boost* tipe SEPIC konverter dengan pengendalian PID (Proportion, Integral, Derivative) dengan pendekatan *trial and error* diterapkan dalam penelitian ini untuk menjaga stabilitas respon sistem saat berbeban dan tanpa beban dengan mengendalikan *duty cycle* dan frekuensi *switching* pada konverter *buck – boost* [5]. Pada penelitian ini, lampu DC digunakan sebagai beban yang merepresentasikan jenis beban yang sering digunakan pada kehidupan sehari – hari.

2. Rancang Bangun SEPIC (*Single – Ended Primary Inductance Converter*) untuk Aplikasi MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) Jenis *Constant Voltage* (CV)

Penelitian ini berjudul Rancang Bangun SEPIC (*Single – Ended Primary Inductance Converter*) untuk Aplikasi MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) Jenis *Constant Voltage* (CV) [6]. Penelitian ini membahas mengenai efisiensi panel surya yang masih

rendah karena kurva karakteristik $V - I$ yang tidak linear dan tegangan keluaran yang tidak stabil dengan menggunakan beban baterai dan resistor yang berbeda yaitu 15Ω , 30Ω , dan 40Ω yang digunakan pada penelitian ini. Sehingga untuk mengatasi hal ini digunakan SEPIC konverter yang mampu menaikkan atau menurunkan tegangan agar stabil dengan beban resistor pada *setpoint* yaitu 14 volt dengan frekuensi *switching* 31 kHz untuk dengan pengaturan PWM menggunakan Arduino UNO yang mengendalikan MOSFET. Sedangkan dengan menggunakan beban baterai digunakan *setpoint* sebesar 12V dengan menggunakan tegangan masukan yang bervariasi yaitu dari 1V hingga 24V. Tegangan keluaran yang dihasilkan pada SEPIC konverter bergantung pada *duty cycle* [6].

3. *Modeling and Simulation of SEPIC Controlled Using PID Controller*

Penelitian ini berjudul *Modeling and Simulation of SEPIC Controlled Using PID Controller* [7]. Penelitian ini membahas mengenai SEPIC konverter karena kemampuannya menghasilkan tegangan keluaran yang stabil meskipun tegangan masukan bervariasi dengan memanfaatkan mode *buck* dan mode *boost*. Selain itu, penelitian ini juga membahas mengenai implementasi SEPIC konverter dengan pengendali PID menggunakan penalaan Bat Algorithm (BA) sehingga mampu mempertahankan kestabilan tegangan meskipun terjadi variasi tegangan masukan dan beban. Implementasi SEPIC konverter pada penelitian ini masih menggunakan simulasi sehingga hanya membandingkan konverter SEPIC terkendali dan yang tidak terkendali [7].

4. Rancang Bangun SEPIC Converter untuk Panel Surya dengan MPPT *Incremental Conductance* Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik

Penelitian ini berjudul Rancang Bangun SEPIC Converter untuk Panel Surya dengan MPPT *Incremental Conductance* Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik [8]. Pada penelitian ini membahas mengenai kinerja panel surya yang sangat terpengaruh oleh

kondisi cuaca yang menyebabkan daya yang disalurkan ke beban tidak maksimal. Maka penelitian ini menggunakan metode MPPT dalam mengoptimalkan daya yang dihasilkan, Algoritma MPPT diterapkan pada *switching* SEPIC konverter dengan sinyal PWM yang dikendalikan oleh Arduino UNO pada frekuensi 62,5 kHz. Dengan menggunakan SEPIC konverter tegangan yang dihasilkan sesuai dengan setpoint menggunakan *duty cycle* maksimum sebesar 65% dan *duty cycle* minimum sebesar 10% [8].

5. *PWM Based Charge Controller for Renewable Energy Applications Using SEPIC Converter*

Penelitian ini berjudul *PWM Based Charge Controller for Renewable Energy Applications Using SEPIC Converter* [9]. Penelitian ini membahas pengembangan pengontrol daya berbasis PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk energi terbarukan yaitu seperti solar sel, namun menghasilkan tegangan keluaran yang tidak stabil dan arus riak tinggi sehingga dimanfaatkan SEPIC (*Single – Ended Primary Inductor Converter*) yang merupakan salah satu DC – DC konverter yang mampu menjadikan tegangan keluaran lebih tinggi atau rendah dengan polaritas yang tidak terbalik dan dapat menghasilkan riak arus yang rendah dan tegangan *output* lebih stabil karena terdapat komponen induktor dan kapasitor. Selain itu, digunakan PWM untuk mengatur dan mengontrol SEPIC konverter agar dapat menjaga tegangan beban tetap stabil, meskipun tegangan *input* bervariasi. Sehingga mampu meningkatkan efisiensi daya dari panel surya. Pada penelitian ini menggunakan platform simulasi MATLAB dalam pengujian SEPIC konverter yang dikendalikan oleh PWM.

6. *Comparative Analysis of Performance of the SEPIC Converter Using PID and Fuzzy Logic Controllers LED Lighting Applications*

Penelitian ini berjudul *Comparative Analysis of Performance of the SEPIC Converter Using PID and Fuzzy Logic Controllers LED Lighting Applications* [10]. Pada penelitian ini membahas mengenai perbandingan kinerja SEPIC konverter yang

dikendalikan oleh pengontrol PID (*Ziegler – Nichols*) dan logika *fuzzy* dalam aplikasi pencahayaan LED. Tujuan dari penelitian ini terfokus untuk mengatasi variasi tegangan *input* yang beragam dengan mempertahankan tegangan *output* tetap konstan. Dari hasil simulasi yang dilakukan pada MATLAB/SIMULINK didapat bahwa saat *open loop* maka didapatkan *overshoot* sebesar 17% dan *settling time* 80 ms, kemudian dengan pengontrolan PID dapat mengurangi *overshoot* hingga 2% tetapi *settling time* menjadi 100 ms, sedangkan dengan logika *fuzzy* dihasilkan tidak ada *overshoot*. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan pengendalian PID atau logika *fuzzy* dapat meningkatkan efisiensi dalam meningkatkan stabilitas tegangan keluaran pada SEPIC konverter.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

Pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan perbedaan ketinggian dan debit air yang mengalir per detik pada saluran irigasi, sungai, ataupun air terjun. Aliran air tersebut digunakan untuk memutar poros turbin untuk menghasilkan energi mekanik yang kemudian akan menggerakkan generator untuk diubah dari energi mekanik menjadi energi listrik [11]. Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik yang mempunyai skala kecil dengan menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW [12]. Berikut merupakan klasifikasi pembangkit listrik tenaga air berdasarkan keluarannya yaitu:

- a. *Large – hydro* : lebih dari 100 MW
- b. *Medium – hydro* : 15 – 100 MW
- c. *Small – hydro* : 1 – 15 MW
- d. *Mini – hydro* : 100 kW – 1 MW
- e. *Micro – hydro* : 5 kW – 100 kW
- f. *Pico – hydro* : kurang dari 5 kW

Dalam pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) hal yang perlu diperhatikan adalah debit air yang sangat berpengaruh terhadap kinerja dan keluaran dari

pembangkit listrik tenaga pikohidro. Selain itu, debit air juga mempengaruhi luas penampang yang masuk ke dalam turbin. Fluida yang mengalir memiliki kecepatan tertentu dengan hubungan antara kecepatan aliran, debit, dan luas penampang dapat dinyatakan melalui persamaan berikut : [13][14]

$$Q = A \times V \quad (2.1)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan air (m^2)

Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan proses pembangkitan tenaga air yang mengubah energi potensial dari air yang memiliki ketinggian dan debit tertentu menjadi energi listrik menggunakan turbin air dan generator. Daya yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan rumus pada persamaan di bawah ini [13]:

$$P = \rho \times Q \times h \times g \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya keluaran secara teoritis (Watt)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

h = Ketinggian efektif (m)

g = Gaya Gravitasi (m/s^2)

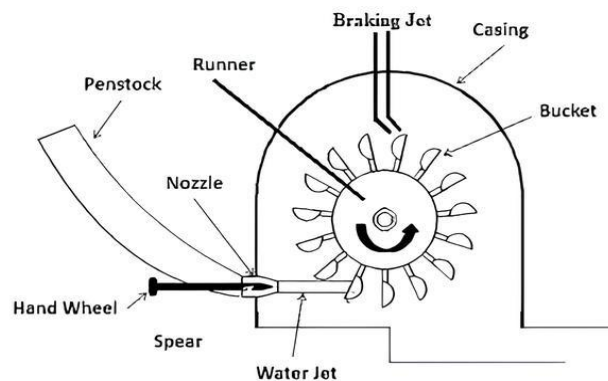
Berdasarkan persamaan 2.2 daya yang dihasilkan bergantung pada perkalian antara tinggi jatuh air dan debit air, sehingga efektivitas pembangkitan tenaga air ditentukan oleh besarnya upaya untuk memperoleh tinggi jatuh air dan debit air yang optimal.

2.3 Turbin

Turbin air merupakan alat yang mengubah energi potensial dari tekanan dan kecepatan aliran air menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Berdasarkan prinsipnya turbin air dapat dibagi menjadi turbin impuls dan turbin reaksi [14]. Turbin impuls dirancang agar *runner* (roda) bekerja dengan memanfaatkan aliran air yang dihasilkan dari perbedaan ketinggian, kemudian energi potensial diubah menjadi kecepatan. Sedangkan turbin reaksi dirancang agar *runner* beroperasi dengan memanfaatkan aliran air yang bergerak karena tekanan pada air [15]. Terdapat beberapa jenis turbin yang biasa digunakan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro, diantaranya yaitu:

2.3.1 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan salah satu jenis dari turbin impuls yang digunakan untuk tinggi terjun air (*head*) yang tinggi. Turbin pelton dilengkapi dengan satu unir *runner* yang memiliki sudu – sudu yang terpasang secara sejajar. Turbin ini cocok digunakan untuk kondisi aliran air dan ketinggian jatuh yang tinggi. Prinsip kerja turbin pelton adalah mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, air akan dipancarkan dengan kecepatan tinggi dengan menyemprotkan pada sudu turbin sehingga *runner* akan berputar [16].

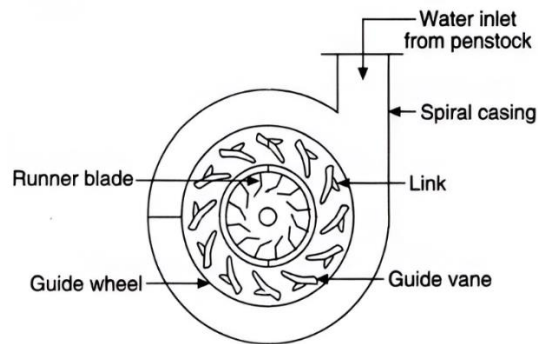


Gambar 2. 1 Turbin Pelton

(Sumber :[17])

2.3.2 Turbin Francis

Turbin francis merupakan salah satu dari jenis turbin reaksi yang sepenuhnya turbin terendam didalam air yang dilengkapi dengan sudu pengarah. Turbin francis digunakan dengan memanfaatkan potensi energi menengah dan dapat beroperasi dengan kecepatan putar yang tinggi [15]. Turbin ini bekerja dengan memanfaatkan tekanan lebih, ketika air masuk ke roda jalan dengan energi tinggi jatuh (*head drop*) maka energi potensialnya sebagian diubah menjadi energi kinetik oleh sudu pengarah. Hal ini meningkatkan kecepatan air melewati sudu pengarah, sehingga dapat memutar sudu jalan. Putaran sudu jalan ini kemudian mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik yang menghasilkan daya [18].



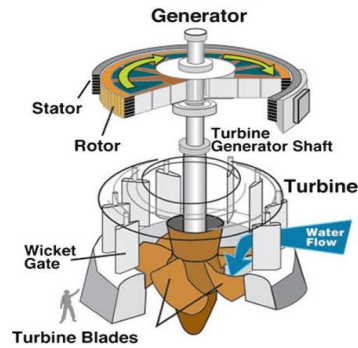
Gambar 2. 2 Turbin Francis

(Sumber :[19])

2.3.3 Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan jenis turbin reaksi yang memiliki sudu – sudu berbentuk seperti baling kapal. Roda turbin kaplan berfungsi menghasilkan gaya putar pada poros turbin untuk menciptakan torsi [20]. Prinsip kerja dari turbin ini memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan turbin lainnya. Dalam prosesnya, air akan mengalir secara radial atau mengarah ke luar titik tengah melalui sisi samping dan diarahkan oleh baling – baling yang memutar aliran air sebesar 90^0 , sehingga air dapat mengarah secara aksial menuju sudu – sudu turbin. Kemudian, air bergerak ke bawah untuk

memutar sudu – sudu turbin dan menciptakan energi mekanik yang akan diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik [21].

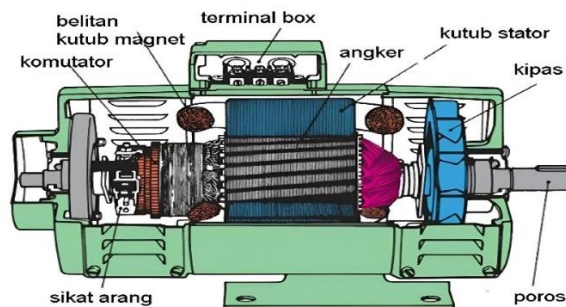


Gambar 2. 3 Turbin Kaplan

(Sumber :[19])

2.4 Generator DC

Generator DC adalah mesin listrik dengan arus searah yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan medan magnet. Secara struktur, generator DC memiliki kumparan medan di stator yang merupakan bagian yang diam dan kumparan jangkar di rotor yaitu bagian yang berputar. Kapasitas pembangkitan energi listrik akan dipengaruhi oleh jumlah kumparan pada rotor [22].



Gambar 2. 4 Generator DC

(Sumber :[23])

Prinsip kerja generator DC berdasarkan hukum Faraday yang berkaitan dengan induksi elektromagnetik. Hukum Faraday menjelaskan bahwa ketika sebuah konduktor bergerak dalam medan magnet maka garis gaya magnet akan terpotong – potong yang menyebabkan induksi gaya elektromagnetik dalam konduktor [24]. Hal ini menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan yang dapat dinyatakan dalam persamaan di bawah ini:

$$E = -N \left(\frac{d\phi}{dt} \right) \quad (2.3)$$

Keterangan :

E = Gaya gerak listrik (V)

N = Banyak lilitan kumparan

$d\phi$ = Perubahan fluks magnet (W)

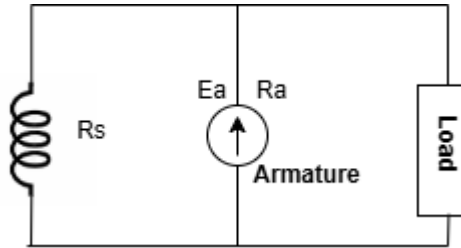
dt = Perubahan waktu (s)

Generator DC dapat dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu generator berpenguat terpisah dan generator penguat sendiri. Karakteristik generator dengan penguat terpisah adalah generator DC yang medan magnetnya disuplai oleh sumber DC eksternal yang tidak terintegrasi dengan generator tersebut. Dan untuk mengatur tegangan terminal pada generator DC berpenguat terpisah dapat dilakukan dengan mengubah kecepatan putaran dan mengubah arus medan [22][24]. Sedangkan pada generator berpenguat sendiri dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu:

2.4.1 Generator DC *Shunt*

Generator DC *shunt* merupakan generator DC yang menyuplai arus medan sendiri dengan menghubungkan dengan terminal generator. Karakteristik generator ini memiliki kumparan medan yang dihubungkan secara paralel dengan kumparan jangkar. Pengaturan tegangan pada generator DC *shunt* dilakukan dengan mengubah kecepatan

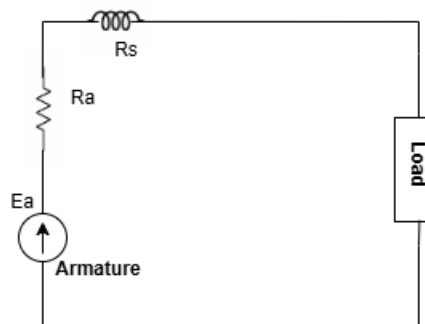
putaran dan mengubah resistor medan generator yang mengakibatkan arus medan berubah [22].



Gambar 2. 5 Rangkaian Ekivalen Generator DC *Shunt*

2.4.2 Generator Seri

Generator seri merupakan generatod DC yang memiliki karakteristik kumparan medan dihubungkan secara seri dengan kumparan jangkar sehingga arus jangkar, arus medan, dan arus saluran mempunyai nilai yang sama [23].

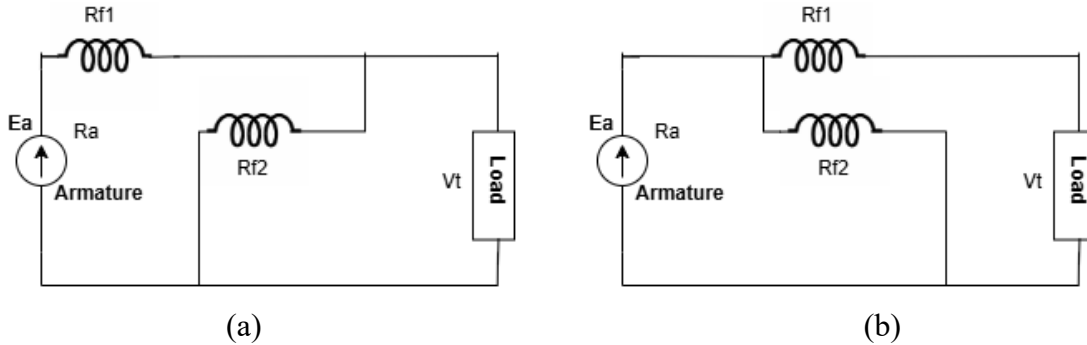


Gambar 2. 6 Rangkaian Ekivalen Generator DC Seri

2.4.3 Generator Kompon

Generator kompon merupakan kombinasi antara generator *shunt* dan seri yang dihubungkan sehingga kumparan seri dapat mendukung kinerja kumparan *shunt*.

Terdapat dua jenis generator DC kompon yaitu generator kompon kumulatif yang memiliki fluks medan seri dan paralel yang saling menguatkan. Sedangkan kompon diferensial yaitu fluks medan seri dan paralel yang saling melemahkan [23].



Gambar 2. 7 Rangkaian Ekuivalen Generator DC Kompon Kumulatif

(a) Kompon Kumulatif Panjang (b) Kompon Kumulatif Pendek

2.5 DC – DC Konverter

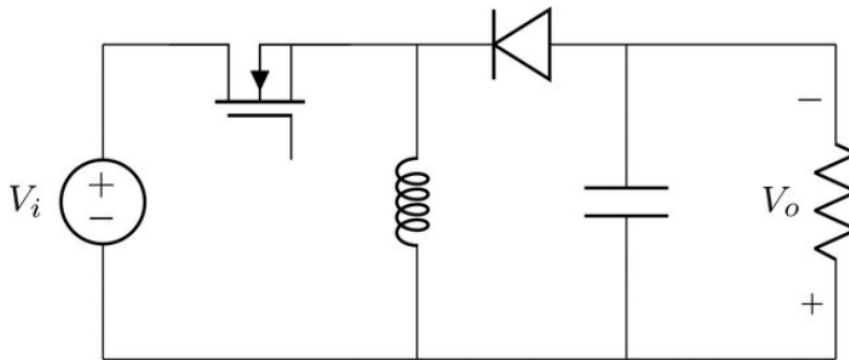
DC – DC konverter atau disebut juga dengan DC *chopper* merupakan perangkat elektronik yang menggunakan komponen saklar semikonduktor seperti MOSFET, IGBT, atau Thyristor untuk mengonversi tegangan DC dari satu level ke level yang lainnya. Konverter DC-DC merupakan rangkaian konversi daya yang bekerja pada frekuensi tinggi dengan memanfaatkan *switching* frekuensi yang tinggi juga serta melibatkan komponen seperti induktor, transformator dan kapasitor untuk meredam *noise switching* sehingga menghasilkan tegangan DC yang stabil dan teratur [25].

Selain untuk mengkonversi daya listrik menjadi searah (DC) yang lebih terkontrol, konverter DC – DC ini juga bertujuan menyediakan tegangan DC yang teregulasi untuk beban resistif. Tegangan DC ini diperoleh melalui proses penyearahan dari tegangan pada saluran yang magnitudenya telah diubah, sehingga menghasilkan tegangan DC yang stabil. Terdapat banyak pengembangan konfigurasi konverter DC – DC yang salah satunya adalah konverter DC – DC yang tidak memiliki isolasi dielektrik antara tegangan masukan dan keluaran (*non – isolated DC – DC converter*) seperti *buck*

konverter, *boost* konverter, *buck – boost* konverter, CUK konverter, dan SEPIC konverter [26].

2.5.1 Buck – Boost Konverter

Konverter *buck – boost* adalah salah satu jenis konverter DC- DC yang dapat menghasilkan tegangan keluaran DC lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan dengan tegangan *input* nya tergantung pada frekuensi *switching* yang digunakan. Komponen utama dalam rangkaian *buck – boost* konverter adalah MOSFET, induktor, kapasitor, dioda, dan beban resistif [27].



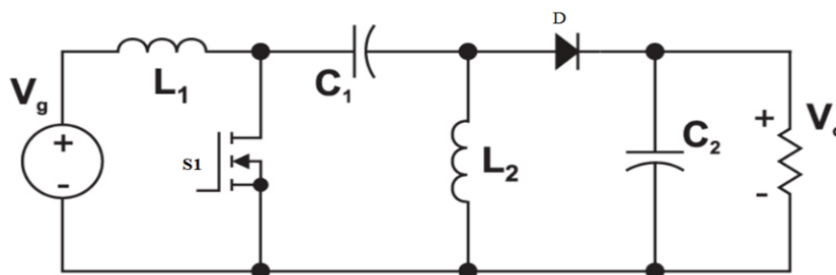
Gambar 2. 8 Topologi Buck – Boost Konverter

Prinsip kerja *buck – boost* konverter terdapat dua kondisi yaitu ketika *switch on* dan *switch off*. Saat kondisi *switch on* maka arus akan mengalir ke induktor, dan dioda akan mengalami *reverse bias* sehingga tidak ada arus yang mengalir. Kemudian secara bersamaa kapasitor mengalami *discharge* sehingga akan mengalirkan arus ke beban. Sedangkan pada saat kondisi *switch off* maka tegangan masukan akan terputus dan induktor akan mengalirkan arus melalui dioda menuju kapasitor karena dalam kondisi ini kapasitor dalam keadaan *charge* dan beban akan mendapatkan aliran arus dari induktor. Namun hasil tegangan keluaran dari *buck – boost* konverter bersifat *inverting* yang artinya berkebalikan dengan tegangan masukan meskipun tegangan keluaran

bernilai diatas atau dibawah tegangan *input*. Besar atau kecilnya tegangan keluaran akan bergantung pada *duty cycle* yang akan dikirimkan ke MOSFET, ketika besar *duty cycle* berada dibawah 50% maka akan menjadi rangkaian *buck* konverter. Sedangkan jika *duty cycle* diatas 50% maka akan menjadi rangkaian *boost* konverter [25][28]. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *buck – boost* konverter memiliki polaritas yang berbeda dengan tegangan masukannya (*inverting*), sehingga hal tersebut menjadikan kekurangan topologi *buck – boost* konverter. Maka dikembangkan topologi *buck – boost* konverter menjadi topologi SEPIC konverter yang memiliki polaritas yang sama antara tegangan masukan dan tegangan keluaran.

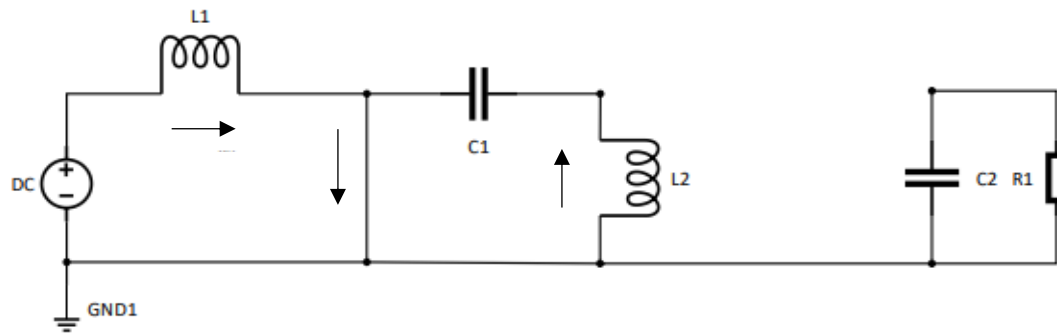
2.5.2 SEPIC Konverter

SEPIC (*Single Ended Primary Inductor Converter*) adalah jenis DC – DC konverter yang mampu menghasilkan tegangan *output* yang lebih tinggi ataupun lebih rendah dari tegangan *input* dengan mengatur besaran *duty cycle* pada SEPIC konverter. Keunggulan dari SEPIC konverter dibandingkan dengan konverter DC – DC lainnya yaitu tegangan *output* yang dihasilkan sesuai dengan polaritas tegangan masukan (*non – inverting*). Pada *duty cycle* berada di bawah 50% maka konverter Sepic akan bekerja sebagai *buck* konverter, sedangkan jika *duty cycle* diatas 50% maka akan bekerja sebagai *boost* konverter. Topologi Sepic konverter memiliki dua induktor (L_1 , L_2) dan dua kapasitor (C_1 , C_2), dioda (D) serta sakelar semikonduktor (Q) [29][30][31].



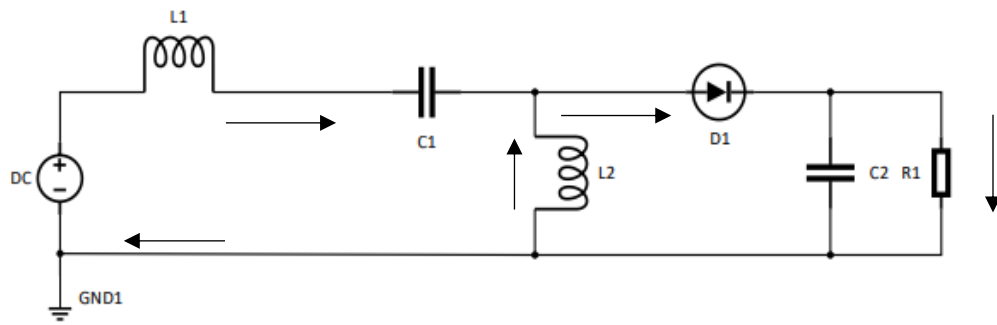
Gambar 2. 9 Topologi SEPIC Konverter

Prinsip kerja SEPIC konverter beroperasi dengan mode CCM (*Continuous Conduction Mode*) merupakan mode arus yang melalui induktor ($L1$) tidak pernah mencapai nol. SEPIC konverter juga memiliki dua kondisi dalam operasinya yaitu kondisi sakelar tertutup (Q_{on}) dan sakelar terbuka (Q_{off}). Pada saat sakelar tertutup (Q_{on}) maka induktor ($L1$) akan mengalami *charger* sehingga arus mengalir dari sumber tegangan (V_{in}) menuju sakelar (Q) dan kembali ke sumber tegangan. Sedangkan pada kondisi yang sama kapasitor ($C1$) mengalami *discharge* sehingga akan mengalirkan arus ke induktor ($L2$) melalui sakelar semikonduktor (Q), dimana kapasitor ($C1$) sebelumnya telah terisi pada saat Q pertama kali konduksi. Pada saat Q_{on} maka induktor ($L1$ dan $L2$) akan terputus dari beban karena dioda mengalami *reverse bias* [32][33].



Gambar 2. 10 Rangkaian SEPIC Konverter Saat Q on

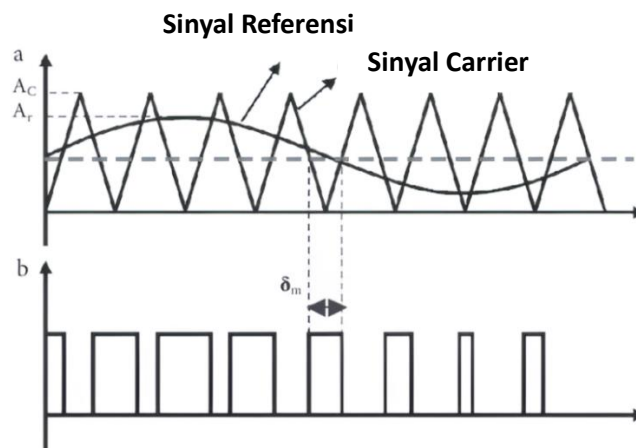
Sedangkan pada kondisi sakelar semikonduktor terbuka (Q_{off}) maka arus dari sumber tegangan (V_{in}) akan mengalir ke induktor ($L1$) dan akan mengisi kapasitor ($C1$) karena mengalami *charge* dan akan mengalir juga ke beban. Sedangkan induktor ($L2$) juga mengalami *discharge* sehingga arusnya akan mengalir ke dioda karena mengalami *forward bias* dan menuju ke kapasitor ($C2$) dan beban [32].



Gambar 2. 11 Rangkaian SEPIC Konverter Saat Q off

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

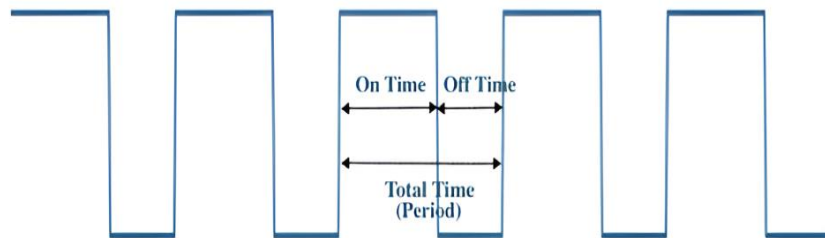
Pulse width modulation (PWM) adalah sebuah metode untuk mengatur dan memodulasi lebar pulsa dengan amplitude dan frekuensi yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Pada dasarnya pembangkitan sinyal PWM dilakukan dengan membandingkan dua sinyal yang memiliki frekuensi yang berbeda. Proses ini melibatkan perbandingan antara sinyal modulasi berupa gelombang sinus dan sinyal pembawa (*carier*) yang berupa gelombang segitiga. Hasil perbandingan antara sinyal ini menghasilkan gelombang pulsa dengan lebar yang bervariasi [34].



Gambar 2. 12 Pembangkitan Sinyal PWM

(Sumber :[35])

Dari hasil perbandingan kedua sinyal maka akan menghasilkan sinyal PWM yang akan berada dalam kondisi *on* selama waktu tertentu yang kemudian berubah menjadi kondisi *off* untuk sisa durasi dalam satu periode. Keunggulan dari PWM adalah kemampuannya untuk mengatur durasi kondisi *on* dengan mengendalikan siklus kerja atau *duty cycle* yang merupakan perbandingan atau rasio antara durasi saat sinyal berada dalam kondisi *on* dengan durasi saat sinyal berada dalam kondisi *off* dalam satu siklus periode [34].



Gambar 2. 13 Sinyal PWM

(Sumber :[35])

$$T_{\text{total}} = T_{\text{on}} + T_{\text{off}} \quad (2.4)$$

$$D = \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{total}}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

T_{on} = Waktu sinyal tinggi

T_{off} = Waktu sinyal rendah

D = *Duty cycle*

2.7 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 merupakan mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328 yang disuplai melalui koneksi USB atau menggunakan suplai eksternal dengan tegangan operasionalnya 5 volt dengan mempunyai memori sebesar 32 KB. Mikrokontroler ini memiliki kecepatan *clock* 16 MHz dan memiliki pin *input/output* digital dan analog dengan 6 pin *input* analog dan 14 pin I/O digital. Selain itu, terdapat juga beberapa pin dengan fungsi yang berbeda seperti pin untuk komunikasi serial (UART), SPI, dan I2C. Arduino UNO R3 dapat dijalankan dengan bahasa pemrograman C/C++.



Gambar 2. 14 Arduino UNO R3

2.8 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah perangkat yang berfungsi untuk membaca besar tegangan dalam suatu sistem. Prinsip kerja dari sensor tegangan ini adalah dengan membandingkan tegangan masukan dan keluaran dengan pemanfaatan resistor yang tetap sebagai konstanta. Sensor tegangan ini mampu membaca tegangan dari 1 volt hingga 25 volt. Sensor tegangan memiliki persamaan yang mendasari prinsip kerja sensor pembagi tegangan yaitu:

$$R_{eq} = \frac{R_{low}}{R_{low} + R_{high}} \quad (2.6)$$

Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{in} + R_{eq} \quad (2.7)$$

Keterangan :

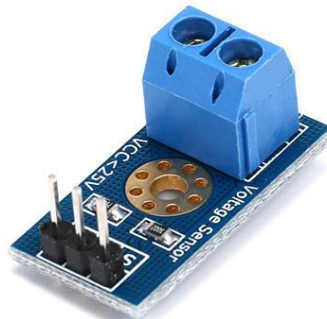
R_{eq} = Resistor Equivalen

R_{low} = Resistor *Low*

R_{high} = Resistor *High*

V_{in} = Tegangan Masukan

V_{out} = Tegangan Keluaran



Gambar 2. 15 Modul Sensor Tegangan

2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Liquid Crystal Display adalah salah satu komponen elektronika yang digunakan untuk menampilkan suatu data yang dapat berupa huruf, angka, maupun grafik. LCD merupakan jenis tampilan elektronik berbasis teknologi logika CMOS yang tidak menghasilkan cahaya sendiri, melainkan memanfaatkan cahaya di sekitarnya dengan

memantulkannya menggunakan *front – lit* atau mentransmisikan melalui *back – lit* yang akan menampilkan data dengan baik [36]. Dalam strukturnya LCD terdiri dari dua komponen utama yaitu *blacklight* yang berwarna putih dan *liquid chystal* yang merupakan cairan organik terletak di antara dua lembar kaca yang memiliki permukaan transparan dan konduktif.



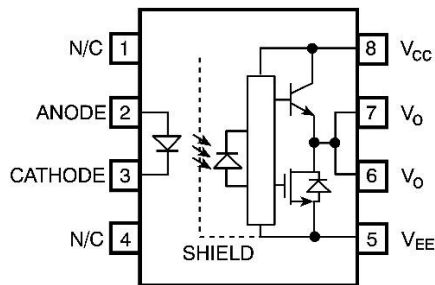
Gambar 2. 16 *Liquid Crystal Display*

2.10 *Gate Driver*

Rangkaian *gate driver* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menggerakkan dan memperkuat sinyal PWM yang dihasilkan oleh rangkaian kontrol untuk mengoperasikan sakelar semikonduktor. *Gate driver* juga berfungsi sebagai penghubung antara sinyal pengendali tegangan (G) dengan sumber (S) pada MOSFET yang menghasilkan tegangan yang disebut dengan *Voltage Gate to Source* (VGS). Terdapat kriteria yang menentukan kualitas rangkaian *gate driver* yaitu sebagai berikut:

1. IC driver yang digunakan memiliki kemampuan untuk melindungi dari gangguan yang disebabkan oleh proses *switching*
2. Gelombang kontrol PWM yang dihasilkan terpisah secara isolasi dengan sistem sehingga arus balik selama *switching* tidak menyebabkan panas yang berlebih pada IGBT atau MOSFET

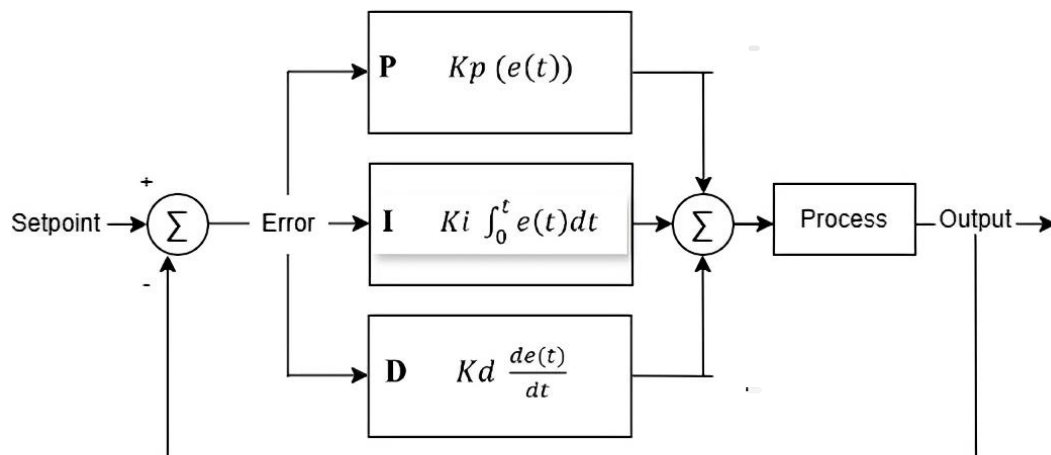
HCPL 3120 merupakan jenis IC optocoupler yang bekerja dengan prinsip mengubah sinyal kontrol menjadi cahaya dan memiliki dua komponen utama yaitu *transmitter* dan *receiver*. Bagian *transmitter* terletak di sisi *input* dan berfungsi mengirimkan sinyal dalam bentuk cahaya infra – merah, karena didalam *transmitter* terdapat LED infra – merah. Sedangkan bagian *receiver* merupakan bagian yang berada di sisi *output* yang berfungsi untuk menerima cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter*.



Gambar 2. 17 HCPL3120

(Sumber :[37])

2.11 Kontroler PID



Gambar 2. 18 Diagram Blok Kontrol PID

Kontroler PID adalah kontroler yang digunakan untuk mengatur presisi suatu sistem instrumentasi yang memiliki umpan balik. Kontroler PID merupakan kombinasi dari kontrol P (*Proportional*), *Integral* (I), dan *Derivative* (D) berfungsi untuk mempercepat respon sistem terhadap *input* yang masuk dan menghilangkan *offset* [38]. Kontrol PID (*Proportional – Integral – Derivative*) merupakan pengontrol konvensional yang digunakan dalam mengontrol parameter seperti kecepatan, suhu, tekanan, dan variabel lainnya. Terdapat persamaan pengendalian PID yang dapat dinyatakan:

$$u(t) = Kp[e(t) + \frac{1}{Ti} \int_0^1 e(t)dt + Td \frac{de(t)}{dt}] \quad (2.8)$$

Keterangan :

Kp = Koefisien Proporsional

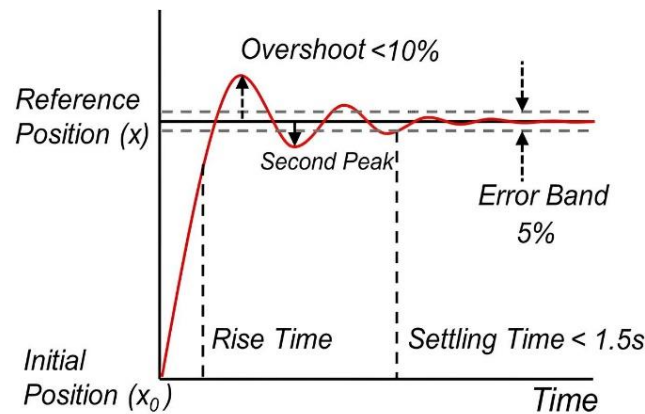
Ki = Koefisien Integral

Kd = Koefisien Derivatif

Ti = Waktu Integral

Td = Waktu Derivatif

Dari persamaan pengendalian PID dihasilkan $u(t)$ yang merupakan keluaran yang digunakan untuk mengatur sistem agar mencapai nilai yang diinginkan. Terdapat konstanta Kp yang merupakan *gain* proporsional yang mengatur besarnya pengaruh kesalahan $e(t)$ terhadap keluaran kontrol PID. Komponen integral dengan persamaan $\frac{1}{Ti} \int_0^1 e(t)dt$ dapat mengakumulasi kesalahan sepanjang waktu untuk mengatasi *offset* yang ada. Sedangkan komponen derivatif dengan persamaan $Td \frac{de(t)}{dt}$ dapat mengukur laju perubahan kesalahan untuk memberikan respon yang lebih cepat terhadap perubahan error. Respon kontrol PID dapat ditunjukkan pada gambar 2.19 [39][40].



Gambar 2. 19 Kurva Respon Sistem Pengendalian PID

(Sumber :[27])

Dalam pengendalian PID terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam respon kontrol PID. Parameter tersebut adalah sebagai berikut [40]:

1. *Overshoot* Maksimal merupakan nilai maksimum yang melampaui nilai *steady state* sebelum mengalami kestabilan.
2. *Rise Time* merupakan waktu naik untuk mencapai *setpoint* yang diukur dari respon $t = 0$ sampai dengan respon memotong sumbu *steady state* yang pertama.
3. *Settling Time* merupakan waktu yang diperlukan oleh respon sistem untuk tetap berada pada batas tertentu dari nilai *setpoint* setelah terjadi osilasi. Batas toleransi yang ditetapkan biasanya 2% sampai 5% dari nilai yang diinginkan.
4. *Error Steady State* merupakan perbedaan antara nilai keluaran yang diinginkan dan nilai keluaran aktual dari sistem kendali setelah keluaran mengalami *steady state*.

2.12 Metode Ziegler – Nichols

Metode *Ziegler – Nichols* merupakan metode empiris yang digunakan untuk menentukan parameter pengendalian pada kontrol PID dengan melibatkan perhitungan

manual yang mendalam. Metode *Ziegler – Nichols* adalah teknik penyesuaian pengendali PID yang dirancang oleh John G. Ziegler dan Nathaniel B. Nichols yang mana dengan metode *tunning* ini dapat menggunakan dua cara yang masing – masing dirancang untuk sistem dengan *loop* terbuka dan *loop* tertutup. Pada saat sistem dengan *loop* terbuka maka digunakan metode kurva reaksi, sedangkan pada sistem dengan *loop* tertutup digunakan metode osilasi [4][41][42].

a. Metode Kurva Reaksi

Metode kurva reaksi digunakan untuk *tunning* pengendalian PID pada sistem dengan *loop* terbuka yaitu sistem tanpa pengendalian umpan balik. Namun dengan menggunakan metode ini terdapat beberapa kelemahan seperti tidak dapat digunakan untuk *tunning* pada sistem yang memiliki persamaan yang kompleks. Metode *Ziegler – Nichols* ini didapatkan dengan teknik melalui eksperimen respon sistem yang mana akan menghasilkan kurva berbentuk S [43]. Kurva S memiliki dua parameter utama yaitu waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T), kedua parameter ini digunakan untuk menentukan nilai Kp, Ki, dan Kd dengan menggunakan metode pada tabel 2.3 dibawah ini:

Tabel 2. 1 Metode *Ziegler - Nichols* dengan Kurva Reaksi

Tipe Kontroler	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2L	0.5L

(Sumber : [40])

b. Metode Osilasi

Metode *Ziegler – Nichols* dengan pengaturan osilasi adalah pengujian sistem dengan kontrol *loop* tertutup untuk mendapatkan parameter pengontrolan PID. Metode osilasi ini mengatur parameter integrator (Ki) menjadi ∞ dan parameter diferensial (Kd) menjadi 0 sedangkan parameter proporsional (Kp) dinaikan

secara bertahap hingga sistem mencapai nilai kritis (K_{cr}) yang menghasilkan respons yang berosilasi dengan amplitudo yang konstan [35]. Metode ini terdapat dua parameter yaitu nilai K_u yang didapat dari nilai K_{cr} dan P_u yang merupakan periode osilasi. Berikut parameter pada metode osilasi *Ziegler – Nichols* dapat ditentukan berdasarkan tabel 2.4 dibawah ini:

Tabel 2. 2 Metode *Ziegler - Nichols* dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_u$	∞	0
PI	$0.45 K_u$	$\frac{1}{1.2} P_u$	0
PID	$0.6 K_u$	$0.5 P_u$	$0.125 P_u$

(Sumber : [40])

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Januari 2025 sampai dengan Juni 2025. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, sedangkan pengujian alat untuk penelitian ini dilakukan di Desa Gisting Atas, Kecamatan Gisting, Kabupaten Tanggamus.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan pada penelitian ini dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu, Perangkat Keras (*Hardware*) dan Perangkat Lunak (*Software*).

3.2.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Adapun perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Motor / Generator DC
2. Turbin Pelton 12 Bilah
3. Rangka Besi L Bolong
4. Pipa PVC
5. *Pulley*
6. *Bearing*
7. *V – Belt*

8. Rangkaian *Gate Driver*
9. Rangkaian SEPIC Konverter
10. Sensor Tegangan
11. Sensor *Flow* Meter
12. Arduino UNO
13. LCD 16 x 2
14. *Box*
15. *Breadboard*
16. Kabel Jumper
17. Lampu DC
18. Multimeter Digital
19. Laptop
20. Osiloskop

3.2.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Adapun perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Arduino IDE
2. EasyEDA
3. Microsoft Office

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan – tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian dan pengumpulan referensi dari hasil penelitian terdahulu. Dari tahap ini diharapkan menjadi pedoman dan

mendukung proses penelitian untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diharapkan.

2. Perancangan Plant dan Sistem Kontrol PID

Pada tahap ini dilakukan perancangan plant dan sistem kontrol yang meliputi perancangan dan pembuatan SEPIC konverter, pembuatan program kontrol PID menggunakan platform Arduino IDE serta perbaikan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).

3. Percobaan Pengujian

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap alat yang sudah diimplementasikan dengan sistem kontrol. Pengujian meliputi penyesuaian nilai setpoint serta konstanta K_p , K_i , dan K_d yang ditentukan menggunakan metode *Ziegler – Nichols*.

4. Pengambilan Data

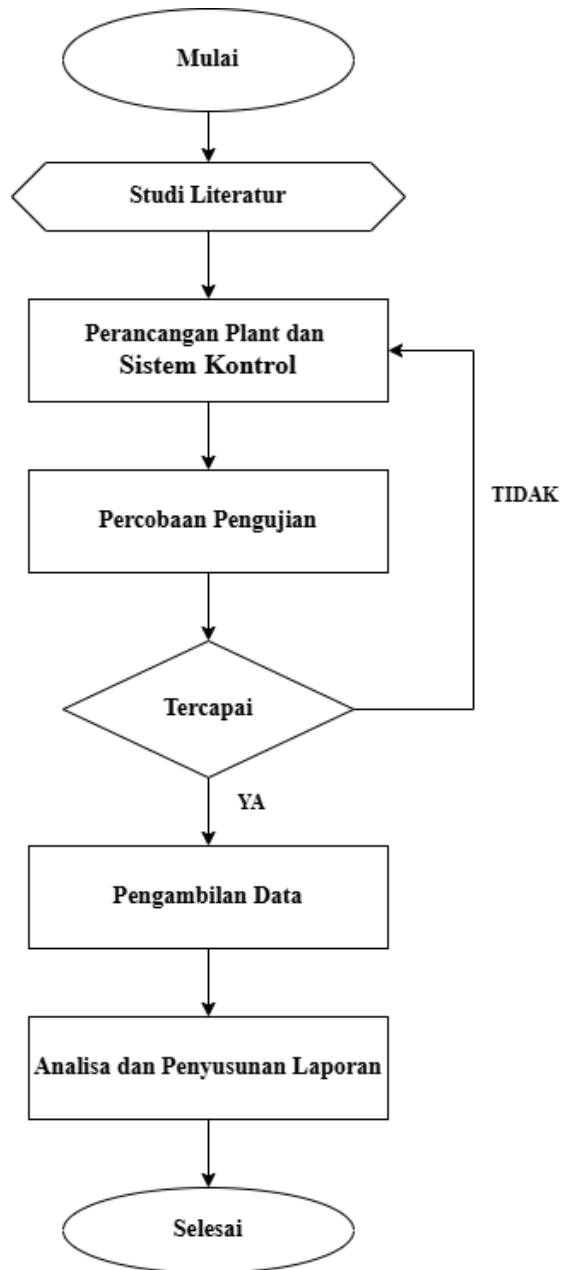
Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dibuat pada keseluruhan plant dengan pengujian terhadap beban yang bervariasi yaitu menggunakan beban lampu DC untuk melihat respon kontrol PID.

5. Analisa dan Penyusunan Laporan

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap data yang didapatkan dan membuat laporan akhir yang berisi hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai kontrol PID yang diimplementasikan pada SEPIC konverter untuk stabilitas tegangan keluaran pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

3.4 Diagram Alir Penelitian

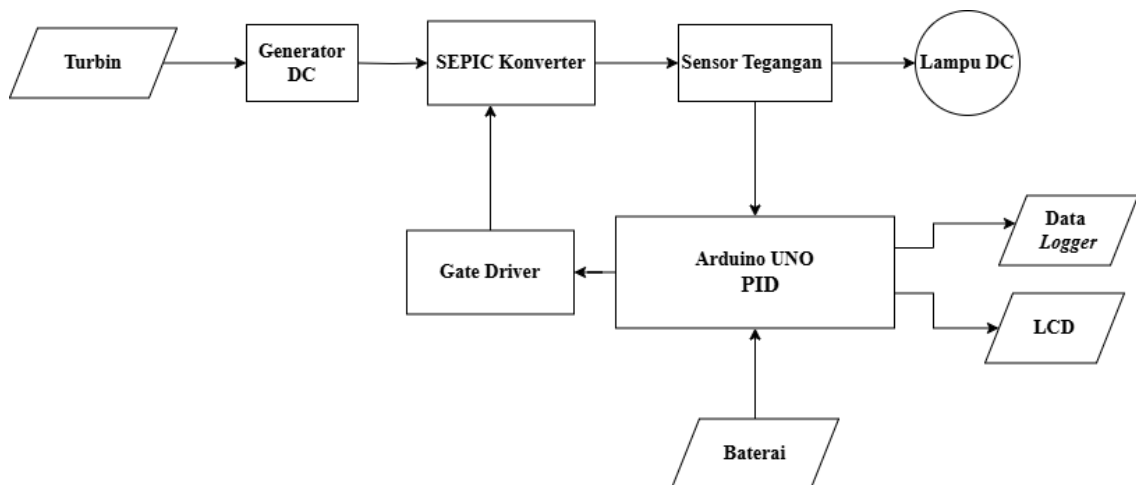
Pada tahapan penelitian dan penyusunan laporan akhir secara keseluruhan dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana seperti gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Diagram Blok Sistem

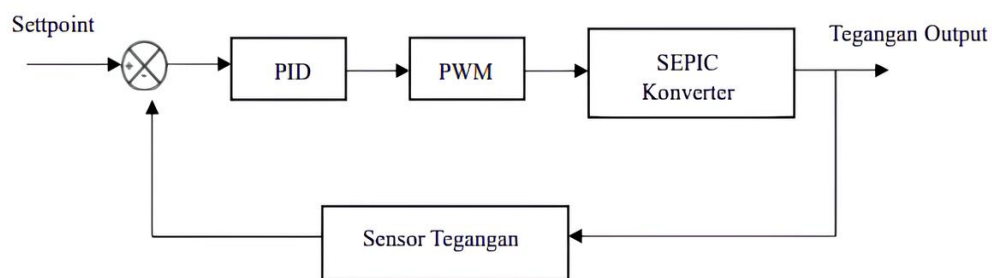
Diagram blok sistem menjelaskan bagaimana sistem keseluruhan bekerja. Proses ini dimulai dari turbin yang digerakkan oleh aliran air yang menghasilkan energi mekanik yang akan dikonversi menjadi energi listrik melalui generator DC. Tegangan keluaran dari generator DC masih belum stabil dikarenakan debit aliran air yang berubah – ubah sehingga tidak dapat langsung digunakan pada beban yaitu lampu DC, sehingga diperlukan SEPIC konverter untuk menstabilkan tegangan keluaran yang bekerja dengan mengatur *duty cycle* melalui sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dihasilkan oleh mikrokontroler Arduino UNO yang telah dilengkapi dengan LCD yang mampu menampilkan hasil tegangan pada layar. Sinyal PWM kemudian akan dibangkitkan oleh *gate driver* untuk mengendalikan saklar MOSFET pada SEPIC konverter. Selain itu, mikrokontroler dilengkapi dengan pengendalian PID yang berfungsi untuk menjaga tegangan *output* tetap stabil pada nilai setpoint yaitu 12 volt meskipun terjadi perubahan beban yang dapat menyebabkan penurunan atau lonjakan tegangan. Terlihat pada gambar 3.2 merupakan gambaran diagram blok sistem yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

3.6 Diagram Blok Kontrol

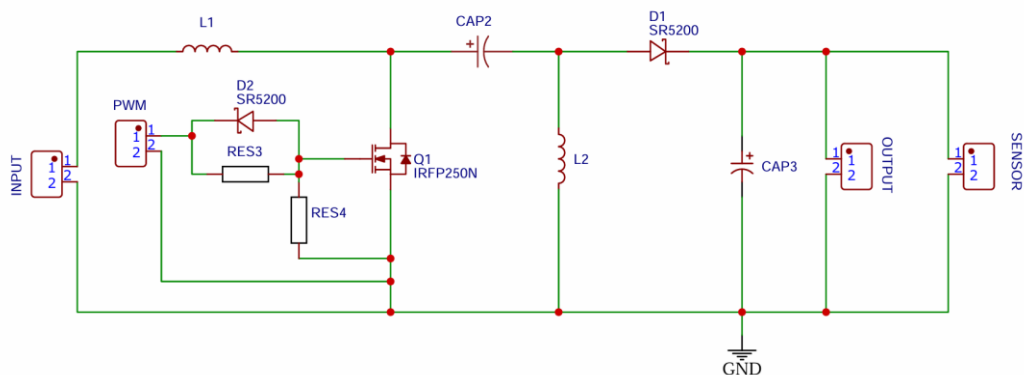
Diagram blok pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik kontrol *loop* tertutup yang menggunakan kontrol PID (*Proportional – Integral – Derivative*). Pada gambar 3.3 menunjukkan diagram sistem kontrol yang dirancang dengan memanfaatkan sensor tegangan sebagai umpan balik sehingga menghasilkan sistem yang dapat merespon perubahan secara cepat dalam menjaga tegangan *output* tetap stabil sesuai dengan nilai *setpoint* yang diinginkan.



Gambar 3. 3 Diagram Sistem Kontrol

3.7 Perancangan SEPIC Konverter

Pada penelitian ini akan dirancang rangkaian SEPIC konverter yang mampu menjaga stabilitas tegangan keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Adapun rangkaian SEPIC konverter dapat dilihat pada gambar 3.4:



Gambar 3. 4 Rangkaian SEPIC Konverter

Perancangan SEPIC konverter menggunakan parameter yang telah ditentukan yang dapat dilihat pada tabel:

Tabel 3. 1 Parameter Awal Perancangan SEPIC Konverter

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan (V_{in})	8 – 24 Volt
Tegangan Keluaran (V_{out})	12 Volt
Arus <i>Output</i>	2,5 Ampere
Frekuensi <i>Switching</i>	60 kHz
<i>Duty Cycle</i>	33% - 60%
<i>Voltage Drop</i> (VD)	0.5 Volt

Berdasarkan parameter awal yang telah ditentukan maka proses selanjutnya adalah mencari nilai komponen – komponen yang lain. Adapun langkah – langkah untuk menentukan nilai komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Komponen Induktor

Menentukan besar nilai dari komponen induktor pada SEPIC konverter maka digunakan persamaan 3.1 yaitu :

$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in (min)}}{\Delta_{IL} \times f_{sw}} \times D_{max} \quad 3.1$$

Maka:

$$L_1 = L_2 = \frac{8}{1,5 \times 60.000} \times 0.6$$

$$L_1 = L_2 = 53,3 \mu H$$

Untuk menentukan arus puncak dari induktor L_1 dan L_2 dapat menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3 yaitu:

$$IL1_{\text{peak}} = I_{\text{out}} \times \frac{V_o + V_D}{V_{\text{in (min)}}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad 3.2$$

$$IL2_{\text{peak}} = I_{\text{out}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \quad 3.3$$

Maka:

$$IL1_{\text{peak}} = 2.5 \times \frac{12 + 0.5}{8} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$IL1_{\text{peak}} = 4.68 \text{ A}$$

Sedangkan arus puncak induktor L_2 yaitu:

$$IL2_{\text{peak}} = 2.5 \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$IL2_{\text{peak}} = 3 \text{ A}$$

2. Menentukan Komponen MOSFET

Menentukan spesifikasi MOSFET yang sesuai untuk rangkaian SEPIC konverter yang akan dirancang maka dapat ditentukan dengan persamaan 3.4 dan 3.5 sebagai berikut:

Persamaan arus puncak MOSFET:

$$I_{Q(\text{peak})} = I_{L1(\text{peak})} + I_{L2(\text{peak})} \quad 3.4$$

Maka:

$$I_{Q(\text{peak})} = 4.68 + 3$$

$$I_{Q(\text{peak})} = 7.68 \text{ A}$$

Sedangkan arus RMS dapat ditentukan dengan persamaan 3.4 berikut:

$$I_{Q(\text{rms})} = \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{\text{in (min)}} + V_D) \times (V_{\text{out}} + V_D)}{V_{\text{in (min)}}^2}} \quad 3.5$$

Maka:

$$I_{Q(\text{rms})} = \sqrt{\frac{(12 + 8 + 0.5) \times (12 + 0.5)}{8^2}}$$

$$I_{Q(\text{rms})} = 4 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapat bahwa arus puncak yang harus dioperasikan oleh MOSFET pada SEPIC konverter sebesar 7,68 A dengan arus RMS sebesar 4A dan memerlukan *switching* dengan frekuensi tinggi. Sehingga dengan parameter tersebut digunakan jenis MOSFET IRFP250N.

3. Menentukan Komponen Dioda

Menentukan komponen dioda harus memperhatikan tegangan balik maksimum yang mampu menahan tegangan pada saat *reverse bias* dan dapat mengurangi tegangan *drop* dan *power losses*. Sehingga dioda yang digunakan adalah dioda SR5200 yang merupakan dioda *schottky* yang memiliki arus *forward* hingga 5 ampere dan tegangan *reverse voltage* hingga 200 volt. Selain itu, dioda SR5200 juga memiliki *recovery time* yang sangat cepat sehingga cocok untuk rangkaian *switching* dengan frekuensi tinggi.

4. Menentukan Komponen Kapasitor

Menentukan besar nilai dari kapasitor (C_1 dan C_2) dapat ditemukan menggunakan persamaan berikut:

$$C_2 = \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times 0.5 \times f_{sw}} \quad 3.6$$

$$I_{C1} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in (min)}}} \quad 3.7$$

$$\Delta V_{CS} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{C_S \times f_{sw}} \quad 3.8$$

$$C_1 = \frac{I_{CS} \times D_{max}}{\Delta V_{CS} \times f} \quad 3.9$$

Sedangkan untuk kapasitor C_2 dapat ditemukan dengan menggunakan persamaan 3.6 dengan tegangan *ripple* (V_{ripple}) diasumsikan sebesar 2% dari tegangan keluaran sehingga menghasilkan tegangan *ripple* sebesar 0,24V

$$C_2 \geq \frac{2,5 \times 0.6}{0,24 \times 0.5 \times 60.000}$$

$$C_2 \geq 208,33 \mu F$$

Berdasarkan perhitungan digunakan kapasitor 330 μ F/35V karena nilai kapasitor yang dibutuhkan tidak tersedia di pasaran. Untuk mencari nilai kapasitor C_1 digunakan persamaan 3.7 dan 3.8 serta 3.9 yaitu sebagai berikut:

$$I_{C1} = 2.5 \times \sqrt{\frac{12 + 0.5}{8}}$$

$$I_{C1} = 3,12 \text{ A}$$

Maka:

$$\Delta V_{cs} = \frac{2.5 \times 0.6}{0.0001 \times 60.000}$$

$$\Delta V_{cs} = 0,25 \text{ V}$$

Sehingga besar kapasitor C_1 adalah:

$$C_1 \geq \frac{3,12 \times 0,6}{0,25 \times 60.000}$$

$$C_1 \geq 123,33 \mu F$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka digunakan kapasitor C_1 sebesar 220 μ F/35V karena nilai kapasitor yang dibutuhkan tidak tersedia di pasaran. Dari kedua kapasitor digunakan rating 35V yang bertujuan untuk mencegah tegangan lebih saat proses pengisian muatan pada kapasitor.

5. Menentukan Komponen Resistor

Menentukan besar komponen resistor dapat menggunakan persamaan 3.10 yaitu sebagai berikut :

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \quad 3.10$$

Maka :

$$R = \frac{12 \text{ V}}{2,5 \text{ A}}$$

$$R = 4,8 \Omega$$

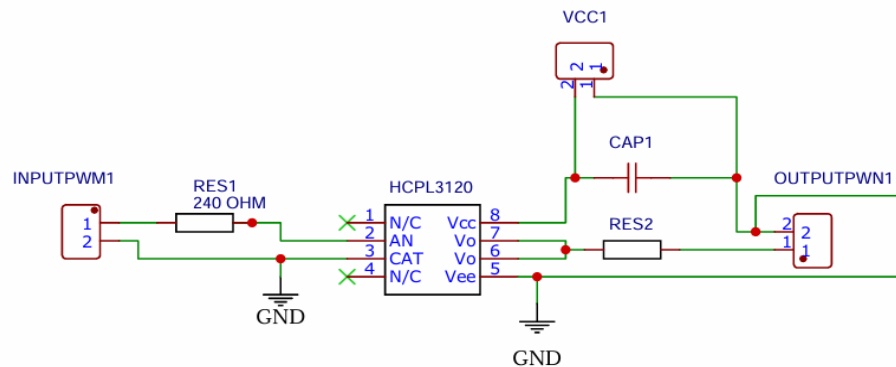
Setelah dilakukan perhitungan untuk mencari nilai komponen yang digunakan maka didapatkan daftar komponen yang ada pada tabel :

Tabel 3. 2 Spesifikasi Komponen SEPIC Konverter

Komponen	Nilai
Induktor (L_1 & L_2)	53,3 μH
MOSFET	IRFP250N
Dioda	SR5200
Kapasitor (C_1 & C_2)	(220 μF /35V) & (330 μF /35V)
Resistor	4,8 Ω

3.8 Perancangan *Gate Driver*

Pada penelitian ini digunakan rangkaian *gate driver* sebagai penguat sinyal PWM dari mikrokontroler dengan menggunakan IC *optocoupler* HCPL – 3120. Untuk perancangan rangkaian *gate driver* dapat dilihat pada gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3. 5 Rangkaian Gate Driver

Berdasarkan gambar 3.5 dapat dilihat bahwa rangkaian *gate driver* memerlukan beberapa komponen tambahan yaitu resistor yang berfungsi untuk membatasi arus dan menyesuaikan tegangan yang mengalir ke LED infra – merah dalam HCPL3120 dan kapasitor yang berfungsi sebagai filter untuk mengurangi *noise* pada tegangan. Untuk mencari besar nilai resistor dapat digunakan persamaan 3.11 sebagai berikut:

$$R = \frac{(V_{\text{sumber}} - V_{\text{led}})}{I_{\text{led}}} \quad 3.11$$

Maka:

$$R = \frac{(5V - 0.8V)}{0.016A}$$

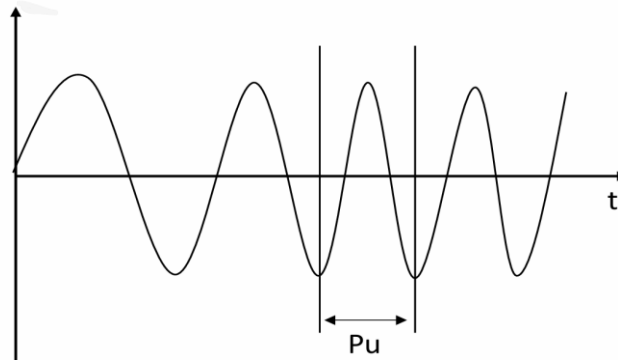
$$R = 262 \, \Omega$$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui dari *datasheet* HCPL3120 bahwa tegangan dan arus operasi dari LED infra – merah adalah 0.8V dan 7 – 16 mA, maka didapatkan resistor yang digunakan sebesar 262 ohm. Sedangkan kapasitor yang digunakan adalah kapasitor *Mylar* 10nF.

3.9 Penentuan Parameter Pengendali PID

Pada penentuan parameter pengendali PID menggunakan penalaan *Ziegler – Nichols* dengan metode osilasi. Adapun langkah – langkah penentuan parameter PID sebagai berikut:

1. Mengatur nilai K_i dan K_d menjadi 0 sehingga hanya nilai K_p yang bekerja dalam sistem. Kemudian nilai K_p diatur mulai dari 0 dan dinaikkan secara bertahap hingga mencapai nilai kritis (K_u) yang menghasilkan osilasi dengan amplitude yang relatif konstan dan berulang secara terus – menerus. Dari proses ini didapatkan nilai K_p yang menyebabkan kondisi sistem berosilasi disebut sebagai K_u sedangkan periode osilasi disebut dengan P_u .



Gambar 3. 6 Kurva Sistem Respon Osilasi

2. Setelah memperoleh nilai K_u dan P_u maka langkah selanjutnya adalah menentukan parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan metode osilasi *Ziegler – Nichols* yang ada pada tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Metode Osilasi *Ziegler - Nichols*

Tipe Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_u$	∞	0
PI	$0.45 K_u$	$\frac{1}{1.2} P_u$	0
PID	$0.6 K_u$	$0.5 P_u$	$0.125 P_u$

3. Setelah mendapatkan nilai K_p , T_i , dan T_d maka langkah selanjutnya adalah menentukan nilai K_i dan K_d dengan menggunakan persamaan berikut:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad 3.12$$

$$K_d = K_p \times T_d \quad 3.13$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Penelitian ini berhasil dalam mengeluarkan tegangan sesuai dengan *setpoint* 12 volt dengan menggunakan SEPIC konverter dengan pengendali PID pada pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH)
- 2 Pengendali PID menggunakan metode *Ziegler – Nichols* osilasi dan menghasilkan parameter $K_p = 12$ $K_i = 12$ dan $K_d = 3$ sehingga menghasilkan respon sistem *rise time* selama 0.63 detik dengan rata – rata *settling time* selama 2.90 detik, *maximum overshoot* sebesar = 5.22%, *maximum undershoot* sebesar = 7.02%, *error steady state* sebesar = 0.155%.
- 3 Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan didapatkan bahwa sistem akan mengatur tegangan keluaran melalui PWM atau *duty cycle* yang telah diberikan. Jika tegangan keluaran lebih kecil dari *setpoint* maka *duty cycle* akan meningkat sehingga tegangan keluarannya juga akan mendekati *setpoint*. Sedangkan jika tegangan keluaran lebih besar dari *setpoint* maka *duty cycle* akan mengecil sehingga tegangan keluarannya akan mendekati *setpoint*.
- 4 Berdasarkan penelitian dan analisis yang dilakukan, saat sistem sudah mencapai kondisi *steady state* dengan beban 10 Watt kemudian diberikan pembebanan dengan lampu 20 Watt dan 30 Watt maka akan terjadi penurunan tegangan. Pada saat pembebanan 20 Watt terjadi penurunan tegangan hingga 11.10 volt. Sedangkan pada saat pembebanan 30 Watt terjadi penurunan tegangan hingga 10.05 volt, namun dengan kontrol PID sistem mampu mencapai *setpoint* kembali.

5.2 Saran

1. Diperlukan pengembangan nilai pada K_p , K_i dan K_d pada pengendali PID yang lebih akurat dan pengembangan metode *tunning* agar respon sistem yang dihasilkan lebih stabil.
2. Diperlukan untuk menggunakan pengendalian yang lain seperti *fuzzy* – PID atau jaringan saraf tiruan sehingga mendapatkan respon yang lebih baik dan lebih efektif serta monitoring berbasis IoT.
3. Diperlukan pengembangan mengenai rangkaian SEPIC Konverter seperti *synchronous* SEPIC Konverter agar lebih optimal dalam kinerjanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Putri, “Penggunaan Air Sebagai Sumber Energi Terbarukan Untuk Energi Listrik,” *Sci. J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 6, pp. 201–204, 2024.
- [2] N. Pratama, O. Melfazen, and B. M. Basuki, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Dengan Daya 72 W Berbasis Kendali Proportional Integral Derivative (PID) pada Konverter DC-DC Di Desa Purwoharjo Kecamatan Ampelgading Kabupaten Malang,” pp. 1–7, 2020.
- [3] K. M. Rais, I. Purnama, and K. B. Adam, “Perancangan Kendali Satu Siklus Pada Konverter Daya DC/DC,” *eProceedings ...*, vol. 8, no. 6, pp. 11431–11439, 2021, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16866%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16866/16583>
- [4] P. D. Lestari, A. Hadi, J. Teknik, E. Uin, S. Syarif, and K. Riau, “Desain PI Controller menggunakan Ziegler Nichols Tuning pada Proses Nonlinier Multivariabel,” pp. 439–446, 2012.
- [5] M. D. Darmawan, Y. Yulianto, and A. Murtono, “Implementasi Kontrol PID Untuk Pengaturan Tegangan Pada Plant Mikrohidro,” *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 7, no. 1, p. 22, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v7i1.176.
- [6] R. Fibrianti, “Rancang Bangun SEPIC (Single-Ended Primary Inductance Converter) untuk Aplikasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) Jenis Constant Voltage(CV),” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 4, no. 2, p. 7, 2020, doi: 10.31963/elekterika.v4i2.2159.

- [7] S. I. Khather and M. A. Ibrahim, "Modeling and simulation of SEPIC controlled converter using PID controller," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 833–843, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i2.pp833-843.
- [8] M. A. B, "Rancang Bangun Sepic Converter Untuk Panel Surya Dengan MPPT Incremental Conductance Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik".
- [9] B. B. Baliwant, A. R. Gothane, and V. B. Waghmare, "PWM based charge controller for renewable energy applications using sepic converter," *Proc. 3rd Int. Conf. Comput. Methodol. Commun. ICCMC 2019*, no. Iccmc, pp. 1051–1054, 2019, doi: 10.1109/ICCMC.2019.8819755.
- [10] B. Paranthagan, M. Marimuthu, and S. P. Shamili, "Comparative Analysis of Performance the SEPIC Converter Using PID and Fuzzy Logic Controllers for LED Lighting Applications," vol. 12, no. 2, pp. 34–42, 2015.
- [11] C. Saragih and A. Syakur, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Generator Ac 3 Fasa Dan Turbin Pelton Di Desa Timbangreja," vol. 12, no. 4, pp. 128–133, 2023.
- [12] I. Desti and A. Ula, "Analisis Sumber Daya Alam Air," *J. Sains Edukatika Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 17–24, 2021.
- [13] U. Amri, P. Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Jurusan Teknik Elektro, and P. Negeri Lhokseumawe, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (Pltph) (Analisis Daya Beban Ouput Pada Generator)," *J. Tektro*, vol. 5, no. 1, p. 100, 2021, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/view/2803>
- [14] T. M. Syahputra, M. Syukri, and I. D. Sara, "Rancang Bangun Prototipe," vol. 2, no. 1, pp. 16–22, 2017.
- [15] D. Rohi, H. H. Tumbelaka, P. Studi, T. Elektro, U. K. Petra, and J. Siwalankerto, "Studi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas," vol. 10, no. 1, pp. 17–23, 2017, doi: 10.9744/jte.10.1.17-23.

- [16] E. Tonadi, O. Coranda, T. Mesin, and F. Teknik, “Analisis pengaruh jumlah sudu terhadap efisiensi turbin pelton dengan tekanan konstan,” vol. 1, no. 1, pp. 36–42, 2021.
- [17] Darto, “Otomatisasi Perencanaan Turbin Air Jenis Pelton,” *Transmisi*, vol. 9, pp. 873–878, 2013, [Online]. Available: <https://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmt/article/view/4589>
- [18] M. Alatas, *Energi Baru Terbarukan & Konversi Energi (Ebtke), Sejarah Kincir Air & Turbin Air*. 2024.
- [19] R. B. Astro, H. Doa, and H. Hendro, “Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro,” *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 6, no. 1, p. 142, 2020, doi: 10.31764/orbita.v6i1.1858.
- [20] D. Kusnadi, Agus Mulyono, “Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis,” vol. 7, no. 2, 2018.
- [21] B. Hartadi, “Perancangan Penstock, Runner, Dan Spiral Casing Pada Turbin Air Kaplan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Di Sungai Sampanahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kotabaru,” 2015.
- [22] J. Jamaaluddin, I. Anshory, I. Sulistiyowati, and A. Ahfas, *Buku Ajar Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. 2022. doi: 10.21070/2022/978-623-464-054-0.
- [23] S. Muttaqin, “Analisa Karakteristik Generator Dan Motor DC,” *Je-Undip*, vol. 2, no. 21060112130034, pp. 1–11, 2015.
- [24] M. Martua, D. Setiawan, and H. Yuvendius, “Studi Karakteristik Luar Dan Efisiensi Generator Dc Penguat Terpisah Terhadap Perubahan Beban Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic,” *J. Karya Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 22–36, 2021, doi: 10.31849/jurkim.v1i1.7888.
- [25] T. Sutikno and H. Satrian Purnama, *Konverter Dc-Dc Prinsip & Aplikasi*, vol. 1. 2020.

- [26] H. Buntulayuk, F. A. Samman, and Y. Yusran, "Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan," *J. Penelit. Enj.*, vol. 21, no. 2, pp. 78–82, 2018, doi: 10.25042/jpe.112017.12.
- [27] S. Diusti Dwi Putri and Aswardi, "Rancang Bangun Buck-Boost Converter menggunakan Kendali PID," *J. Tek. Elektro dan Vokasional*, vol. 6, no. 02, pp. 1–15, 2020, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- [28] W. Hart Danial, *Commonly used Power and Converter Equations*. 2010.
- [29] R. P. Eviningsih, A. Rahmadani, A. R. Kinasih, and R. Arvioneta, "Jurnal Politeknik Caltex Riau Perancangan Konverter Sepic untuk Pengisian Baterai dengan Menggunakan Panel Surya," vol. 9, no. 1, pp. 75–85, 2023.
- [30] M. O. Ali and A. H. Ahmad, "Design, modelling and simulation of controlled sepic dc-dc converter-based genetic algorithm," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 11, no. 4, pp. 2116–2125, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i4.pp2116-2125.
- [31] M. Verma and S. S. Kumar, "Hardware Design of SEPIC Converter and its Analysis," *Proc. 2018 Int. Conf. Curr. Trends Towar. Converging Technol. ICCTCT 2018*, no. 4, pp. 2018–2021, 2018, doi: 10.1109/ICCTCT.2018.8551052.
- [32] R. Engineering, "Analyzing the Sepic Converter," no. November, 2006.
- [33] A. Hren and P. Šlibar, "Full order dynamic model of SEPIC converter," *IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, vol. II, pp. 553–558, 2005, doi: 10.1109/ISIE.2005.1528977.
- [34] H. Matalata and U. Batanghari, "Analisa Buck Converter Dan Boost Converter Pada Perubahan Duty Cycle Pwm Dengan Membandingkan Frekuensi Pwm 1 , 7 Khz," no. September, 2021, doi: 10.33087/jiubj.v18i1.431.
- [35] Y. Alif and K. Utama, "Perbandingan Metode Tuning PID pada Pengaturan

Kecepatan Parallel Hybrid Electric Vehicle Comparison of PID Tuning Methods for Parallel Hybrid Electric Vehicle Speed Controller,” vol. 10, no. 1, 2022.

- [36] T. Elektro, U. Sam, R. Manado, and J. K. B. Manado, “Kotak Penyimpanan Uang Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” vol. 7, no. 2, pp. 167–174, 2018.
- [37] M. A. Mazta, A. S. Samosir, and A. Haris, “Rancang Bangun Interleaved Boost Converter Berbasis Arduino,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 22–29, 2016.
- [38] K. Irma Husnaini, “Komparasi Pengendali Pi Dan Pid Untuk Tegangan Keluaran Konverter Buck,” no. October, 2019, doi: 10.25077/jnte.v6n3.387.2017.
- [39] P. Shah and S. Agashe, “Mechatronics Review of fractional PID controller,” vol. 38, pp. 29–41, 2016.
- [40] K. Ogata, *Modern Control Engineering*. 2009.
- [41] A. M. De Paor, “Fiftieth anniversary celebration of the Ziegler-Nichols PID controller,” *Int. J. Electr. Eng. Educ.*, vol. 30, no. 4, pp. 303–316, 1993, doi: 10.1177/002072099303000404.
- [42] N. Yadaiah and S. Malladi, “An optimized relation between T_i and T_d in Modified Ziegler Nichols PID controller tuning,” *Proc. IEEE Int. Conf. Control Appl.*, no. 1, pp. 1275–1280, 2013, doi: 10.1109/CCA.2013.6662928.
- [43] H. Supriyanto, F. Suryatini, A. Rohman, H. Martawireja, and H. Rudiansyah, “Implementasi Kontroler Pid Dengan Metode Tuning Ziegler- Nichols Dan Cohen-Coon Pada Sistem Scada Kendali Level Air,” vol. 8, no. September, pp.149–157, 2022.