

SKRIPSI

**ANALISIS KINERJA *SINGLE ENDED PRIMARY INDUCTOR CONVERTER*
(SEPIC) DENGAN VARIAN KENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL (PI)*
ADAPTIF DAN STATIS**

Disusun dan diajukan oleh:

A. NUR ANNISA ALIF PANAWAN

D041181322



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**Analisis Kinerja *Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) dengan
Varian Kendali *Proportional Integral* (PI) Adaptif dan Statis**

Disusun dan diajukan oleh:

A. NUR ANNISA ALIF PANAWAN

D041 18 1322

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

Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 15 Agustus 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr-Ing. Ir. Faizal Arya Samman,

ST., MT., IPU., ACPE

NIP: 197506052002121004



Ida Rachmaniar Sahali, ST., MT

NIP: 198206302012122001

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT

NIP: 196910261994122001

LEMBARAN PERBAIKAN SKRIPSI

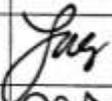
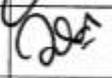
Analisis Kinerja *Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) dengan Varian Kendali *Proportional Integral* (PI) Adaptif dan Statis

Oleh:

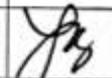
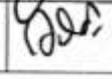
A. NUR ANNISA ALIF PANAWAN D041181322

Skripsi ini telah dipertahankan pada Ujian Akhir Sarjana pada tanggal 15 Agustus 2023 dan telah dilakukan perbaikan penulisan dan isi skripsi berdasarkan usulan dari penguji dan pembimbing skripsi.

Persetujuan perbaikan oleh tim penguji:

| | Nama | Tanda Tangan |
|------------|---|---|
| Ketua | Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, IPU., ACPE |  |
| Sekretaris | Ida Rachmaniar Sahali, ST., MT |  |
| Anggota | Dr. A. Ejah Umraeni Salam, ST., MT |  |
| | Muh. Anshar, ST., M.Sc(Research)., Ph.D |  |

Persetujuan perbaikan oleh pembimbing:

| Pembimbing | Nama | Tanda Tangan |
|------------|---|---|
| I | Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST., MT., IPU., ACPE |  |
| II | Ida Rachmaniar Sahali, ST., MT |  |

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : A. Nur Annisa Alif Panawan

NIM : D041181322

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

menyatakan dengan ini, karya tulisan saya yang berjudul:

*"Analisis Kinerja Single Ended Primary Inductor Converter (SEPIC) dengan
Varian Kendali Proportional Integral (PI) Adaptif dan Statis"*

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 15 Agustus 2023

Yang Bertanda Tangan



A. Nur Annisa Alif Panawan

ABSTRAK

Single-Ended Primary-Inductor Converter (SEPIC) merupakan salah satu jenis konverter DC-DC yang telah digunakan secara luas. Pada kondisi tertentu, konverter tersebut dapat menunjukkan perilaku yang tidak sesuai pada hal kestabilan dan keandalan sehingga membutuhkan pengontrol agar nilai tegangan, arus, atau daya yang dihasilkannya sesuai dengan yang diinginkan. Dalam penelitian ini, kami menguji dan mensimulasikan kinerja konverter SEPIC dengan penggunaan pengontrol *Proportional Integral* (PI), dan membandingkan penggunaan metode *tuning* Ziegler-Nichols (ZN), *Genetic Algorithm* (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Fuzzy Logic* dalam mengatur parameter kendali PI. Metode *tuning* ZN merupakan metode klasik yang telah banyak digunakan dalam proses *tuning* PID. Sedangkan, GA dan PSO merupakan algoritma optimasi stokastik yang terinspirasi dari fenomena alam. Proses parameterisasi akan dilakukan secara *offline* dengan metode ZN, GA dan PSO, dan *online* dengan metode *Fuzzy* yang menggunakan sistem umpan balik ke kontroler PI dalam memberikan nilai K_p dan K_i . Simulasi dilakukan melalui MATLAB. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa metode *tuning* PI menggunakan GA, PSO, atau *Fuzzy Logic* lebih baik daripada metode ZN dan dengan kelebihan *tuning* PI-Fuzzy yang adaptif atau tidak perlu pengaturan K_p dan K_i manual, maka metode *fuzzy logic* memiliki kelebihan dalam hal kemudahan dari ketiga metode lainnya.

Kata Kunci: SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter), PI (Proportional Integral) Adaptif, GA (Genetic Algorithm), PSO (Particle Swarm Optimization), Fuzzy Logic

ABSTRACT

The Single-Ended Primary-Inductor Converter (SEPIC) is one type of DC-DC converter that has been widely utilized. In certain condition, this DC-DC converters may exhibit inappropriate behavior regarding stability and reliability, thus requiring a controller to ensure that the voltage, current, or power values they produce align with the desired one. In this research, we examine and simulate the performance of the SEPIC converter using a Proportional Integral (PI) controller and compare the use of tuning methods: Ziegler-Nichols (ZN), Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Fuzzy Logic in regulating the PI control parameters. ZN is a classical tuning method commonly employed in PID tuning processes. Meanwhile, GA and PSO are stochastic optimization algorithms inspired by natural phenomena. The parameterization process will be conducted offline using the ZN, GA, and PSO methods, and online using the Fuzzy Logic method that employs feedback to the PI controller in providing values for K_p and K_i . Simulations will be performed through MATLAB. From the simulation results, it is observed that the PI tuning methods using GA, PSO, and Fuzzy Logic are superior to the ZN method, and with the advantage of adaptive process for PI tuning, the fuzzy logic method outperforms in terms of convenience to the other three methods.

Keywords: SEPIC (Single-Ended Primary-Inductor Converter), Adaptive PI (Proportional Integral), GA (Genetic Algorithm), PSO (Particle Swarm Optimization), Fuzzy Logic

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan yang Maha Kuasa atas segala keberkahan dan nikmat serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Kinerja *Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) dengan Varian Kendali *Proportional Integral* (PI) Adaptif dan Statis”. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan lewat tulisan ini kepada orang tua dan adik-adik penulis, pembimbing utama dan para dosen, para senior dan junior, serta teman-teman dan saudara-saudari CAL18RATOR.

Tidak ada manusia yang luput dari kesalahan. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak luput pula dari kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dapat diberikan kepada penulis.

Makassar, 15 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| LEMBAR JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI..... | ii |
| LEMBARAN PERBAIKAN SKRIPSI..... | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| I. 1 Latar Belakang | 1 |
| I. 2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| I. 3 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| I. 4 Batasan Masalah | 2 |
| I. 5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| I. 6 Metode Penelitian..... | 3 |
| I. 7 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| II. 1 <i>Single-Ended Primary-Inductor Converter (SEPIC)</i> | 5 |
| II. 2 Pengontrol <i>Proporsional Integral Derivative (PID)</i> dan <i>Proporsional Integral (PI)</i> | 9 |
| II. 3 Metode <i>Tuning</i> PID..... | 10 |
| II. 3. 1 Metode Ziegler-Nichols (ZN) | 11 |
| II. 3. 2 Metode Genetic Algorithm (GA) | 12 |
| II. 3. 3 Metode Particle Swarm Optimization (PSO)..... | 13 |
| II. 3. 4 Metode <i>Fuzzy Logic</i> | 14 |
| II. 4 Spesifikasi Karakteristik Kinerja Sistem Kontrol | 17 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 18 |
| III. 1 Gambaran Umum Penelitian | 18 |

| | |
|--|----|
| III. 2 Tahapan Penelitian | 18 |
| III. 3 Perancangan Sistem..... | 19 |
| III. 3. 1. Perancangan Diagram Blok..... | 19 |
| III. 3. 2. Perancangan Model SEPIC dengan Pengontrol PI..... | 20 |
| III. 3. 3. Perancangan Metode ZN | 21 |
| III. 3. 4. Perancangan Algoritma GA | 22 |
| III. 3. 5. Perancangan Algoritma PSO..... | 23 |
| III. 3. 6. Perancangan <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 24 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 26 |
| IV. 1 Hasil Simulasi SEPIC Tanpa Pengontrol..... | 26 |
| IV. 2 Hasil Simulasi SEPIC dengan Pengontrol PID dan PI | 27 |
| IV. 3 Hasil Simulasi SEPIC dengan Pengontrol PI-ZN | 28 |
| IV. 4 Hasil Simulasi SEPIC dengan Pengontrol PI-GA..... | 29 |
| IV. 5 Hasil Simulasi SEPIC dengan Pengontrol PI-PSO | 31 |
| IV. 6 Hasil Simulasi SEPIC dengan Pengontrol PI- <i>Fuzzy</i> | 32 |
| IV. 7 Analisis Perbandingan Kinerja SEPIC dengan Pengontrol PI-ZN, PI-GA, PI-PSO, dan PI- <i>Fuzzy</i> | 34 |
| BAB V PENUTUP..... | 36 |
| V. 1 Kesimpulan..... | 36 |
| V. 2 Saran..... | 37 |
| LAMPIRAN..... | 40 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Topologi SEPIC | 6 |
| Gambar 2.2 SEPIC pada Dua Keadaan | 7 |
| Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian | 18 |
| Gambar 3.2 Diagram Blok Simulasi | 19 |
| Gambar 3.3 Skematik SEPIC dengan Pengontrol PI | 21 |
| Gambar 3.4 Diagram Proses <i>Tuning</i> dengan Metode GA | 22 |
| Gambar 3.5 Diagram Proses <i>Tuning</i> dengan Metode PSO | 24 |
| Gambar 3.6 Diagram Proses <i>Tuning</i> dengan Metode <i>Fuzzy</i> | 25 |
| Gambar 4.1 Output SEPIC tanpa Pengontrol | 26 |
| Gambar 4.2 Output SEPIC dengan Pengontrol PID dan PI | 27 |
| Gambar 4.3 Sinyal Keluaran SEPIC dengan Pengontrol PI-ZN | 28 |
| Gambar 4.4 Sinyal Keluaran SEPIC dengan Pengontrol PI-GA | 30 |
| Gambar 4.5 Sinyal Keluaran SEPIC dengan Pengontrol PI-PSO | 31 |
| Gambar 4.6 Sinyal Keluaran SEPIC dengan Pengontrol PI- <i>Fuzzy</i> | 33 |
| Gambar 4.7 Perbandingan V_{out} dengan V_{in} Berubah-Ubah | 34 |
| Gambar 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi | 35 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Parameter Pengontrol PID dengan Metode <i>Tuning</i> Ziegler-Nichols | 11 |
| Tabel 3.1 Parameter SEPIC pada Simulasi | 20 |
| Tabel 3.2 Parameter Metode <i>Tuning</i> ZN | 21 |
| Tabel 3.3 Parameter Algoritma GA..... | 22 |
| Tabel 3.4 Parameter Algoritma PSO | 23 |
| Tabel 3.5 <i>Rule Base Inference</i> pada Metode <i>Fuzzy</i> | 25 |

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1 Latar Belakang

Saat ini, konverter daya memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Perangkat ini dapat ditemukan pada berbagai penggunaan teknologi, mulai dari gadget hingga pada pengoperasian mesin industri. Perkembangan dari konverter daya dimulai dari rangkaian tegangan sederhana sampai menjadi sistem manajemen daya yang canggih dan mampu mengoptimalkan penyediaan atau penggunaan energi listrik, meningkatkan efisiensi, dan memperpanjang masa pakai perangkat elektronik.

Konverter daya memiliki kemampuan untuk mengubah suatu level arus atau tegangan ke level arus atau tegangan lainnya, serta dapat mengkonversi arus searah menjadi arus bolak-balik atau sebaliknya. Secara umum, konverter daya terdiri dari berbagai jenis, seperti konverter arus searah - arus bolak balik (DC-AC), konverter AC-AC, konverter AC-DC, dan konverter DC-DC. Salah satu jenisnya, yaitu konverter DC-DC, dapat digunakan untuk menyesuaikan tegangan input DC dari sumber energi listrik ke level tegangan DC yang diperlukan oleh suatu perangkat atau komponen.

Dalam dunia elektronika modern, konverter DC-DC menjadi salah satu komponen penting dalam berbagai aplikasi yang mencakup berbagai bidang, seperti elektronika konsumen, otomotif, industri, dan pembangkitan listrik dengan energi baru terbarukan. Konverter DC-DC dapat ditemukan dengan mudah pada perangkat elektronik portabel, seperti telepon seluler dan laptop, yang dayanya disuplai oleh baterai. Konverter DC-DC juga digunakan pada kendaraan listrik dengan mengubah tegangan dari aki mobil ke level tegangan yang diperlukan sistem elektronik kendaraan. Dalam aplikasi industri, konverter DC-DC digunakan sebagai komponen catu daya untuk berbagai jenis mesin dan peralatan. Sedangkan pada pembangkit listrik oleh energi baru terbarukan, seperti pembangkit listrik tenaga surya atau pembangkit listrik tenaga bayu, konverter DC-DC dapat memaksimalkan dan

menghasilkan energi listrik yang lebih stabil sehingga cocok untuk penggunaan langsung atau penyimpanan.

Dalam penggunaan konverter DC-DC, kondisi yang mengacu pada pola yang tidak dapat diprediksi dan kompleks dapat terjadi. Pada kondisi tersebut, konverter DC-DC dapat menunjukkan perilaku yang tidak sesuai pada hal kestabilan dan keandalan sehingga membutuhkan pengontrol agar nilai tegangan, arus, atau daya yang dihasilkannya sesuai dengan yang diinginkan. Dengan dasar pemikiran ini, kami akan menguji dan mensimulasikan kinerja salah satu jenis konverter DC-DC, yaitu *Single-Ended Primary-Inductor Converter* (SEPIC) dengan menggunakan pengendali *Proportional Integral* (PI). Selain itu, kami juga membandingkan penggunaan empat metode *tuning*, yaitu Ziegler-Nichols (ZN), *Genetic Algorithm* (GA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Fuzzy Logic*, sebagai parameterisasi PI.

I. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sinyal keluaran dari SEPIC tanpa pengontrol?
2. Bagaimana sinyal keluaran dari SEPIC dengan pengontrol PID dibandingkan dengan pengontrol PI dengan metode *tuning* ZN?
3. Bagaimana perbandingan kinerja SEPIC dengan pengontrol PI adaptif yang menggunakan metode *tuning Fuzzy Logic* dan PI statis yang menggunakan metode *tuning* ZN, GA, dan PSO?

I. 3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja SEPIC dengan varian kendali PI adaptif dan statis yang menggunakan metode *tuning* ZN, GA, PSO, dan *Fuzzy Logic*.

I. 4 Batasan Masalah

Berikut merupakan beberapa batasan yang terdapat dalam pelaksanaan penelitian ini.

1. Sistem yang akan dikendalikan adalah SEPIC.

2. Nilai tegangan masukan yang akan disimulasikan adalah 8V hingga 48V.
3. Nilai tegangan keluaran yang menjadi target adalah 14.2V.
4. Nilai beban yang akan disimulasikan adalah R – 14.4 Ohm, RL - 1.44 Ohm, RC – 1.44 Ohm, RLC – 1.44 Ohm, dan tanpa beban.
5. Kriteria ukur atau validasi kinerja SEPIC menggunakan *settling time*, *maximum overshoot*, dan *steady-state error*.
6. Optimasi parameter pengontrol PI dengan metode ZN dilakukan dengan sistem *loop* terbuka.
7. Optimasi parameter pengontrol PI dengan metode GA dan PSO dilakukan dengan sistem *loop* tertutup secara *offline*.
8. Optimasi parameter pengontrol PI dengan metode *Fuzzy Logic* dilakukan dengan sistem *loop* tertutup secara *online*.

I. 5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk penelitian atau pengembangan lebih lanjut yang berkaitan dengan kinerja konverter SEPIC yang menggunakan pengontrolan PI adaptif dan PI statis dengan parameterisasi metode ZN, GA, PSO, dan *Fuzzy Logic*.

I. 6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Studi Literatur

Proses ini dilakukan dengan mengkaji buku, jurnal, atau sumber informasi lainnya yang berkaitan dengan judul penelitian. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan landasan teori yang tepat sebelum melakukan penelitian.

2. Pemodelan Sistem dan Algoritma Optimasi

Pada tahap ini, kami membuat model SEPIC di PSpice. Setelah itu, membuat model SEPIC dengan pengontrol PI serta menulis program atau merancang metode untuk optimasi parameter PI di MATLAB.

3. Simulasi

Proses simulasi ini kami lakukan melalui perangkat lunak MATLAB. Hal ini dilakukan untuk melihat nilai keluaran dari model yang telah dibuat.

4. Analisis Data

Pada tahap ini, kami menganalisis perbandingan dari penggunaan metode ZN, GA, PSO, dan *Fuzzy Logic* sebagai parameterisasi kontroler PI terhadap kinerja SEPIC.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penelitian ini terdiri dari berbagai rangkaian penelitian. Tahapan terakhir adalah penyusunan laporan tugas akhir dengan berlandaskan pedoman penulisan tugas akhir.

I. 7 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini, sistematika penulisan dibagi menjadi lima bagian utama, yaitu:

- BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

- BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori berdasarkan literatur terkait yang menunjang penelitian ini.

- BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai tahapan dan proses penelitian secara garis besar.

- BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menampilkan data hasil dan analisis perbandingan sistem yang disimulasikan.

- BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian ini dan saran untuk penelitian atau pengembangan lebih lanjut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 *Single-Ended Primary-Inductor Converter (SEPIC)*

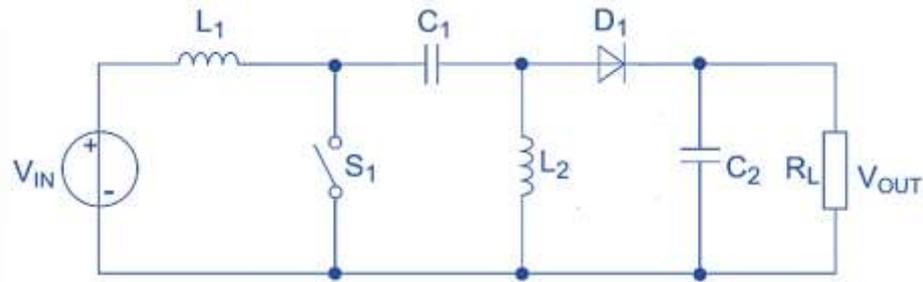
Konverter merupakan perangkat elektronik atau rangkaian elektronika daya yang dapat mengkonversi suatu nilai tegangan atau arus ke nilai tertentu, serta mengkonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) atau sebaliknya. Terdapat berbagai jenis konverter yang dapat digunakan untuk manajemen energi listrik, seperti konverter *Alternating Current (AC) – Direct Current (DC)*, konverter DC-AC, konverter AC-AC, dan konverter DC-DC. Konverter DC-DC sendiri dapat dibagi menjadi beberapa jenis, seperti *step-up/boost converter*, *step-down/buck converter*, *buck/boost converter*, *CUK converter*, dan *SEPIC*.

Konverter DC-DC yang biasa juga disebut sebagai *chopper* merupakan suatu perangkat elektronik yang dapat mengubah nilai suatu tegangan menjadi nilai tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah, Komponen yang berperan penting dari perubahan nilai tegangan ini adalah semikonduktor daya yang dapat berupa *Bipolar Junction Transistor (BJT)*, *Insulated Gate Bipolar transistor (IGBT)*, *Silicon Controlled Rectifier (SCR)*, atau *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)*. Penggunaan semikonduktor daya sebagai saklar ini memanfaatkan waktu sakelar tertutup dan terbuka yang akan mempengaruhi energi yang tersimpan pada induktor dan kapasitor sehingga nilai tegangan yang dikeluarkan dari rangkaian daya, arus, atau tegangan dapat diatur atau disesuaikan.

Konverter *SEPIC* merupakan salah satu jenis *chopper* yang paling banyak digunakan karena dapat menaikkan dan menurunkan tegangan. Kelebihan *SEPIC* dibandingkan konverter *boost/buck* biasa adalah dapat mengatasi polaritas dari tegangan keluaran dari konverter *boost/buck* yang terbalik (Putri, 2020). Adapun hal-hal yang lebih spesifik terkait *SEPIC* adalah sebagai berikut.

II. 1. 1 Komponen-Komponen pada SEPIC

SEPIC terdiri dari berbagai komponen, seperti, induktor, kapasitor, dioda, dan saklar. Jumlah dari masing-masing komponen yang digunakan pada SEPIC dapat dilihat pada topologi SEPIC berikut.

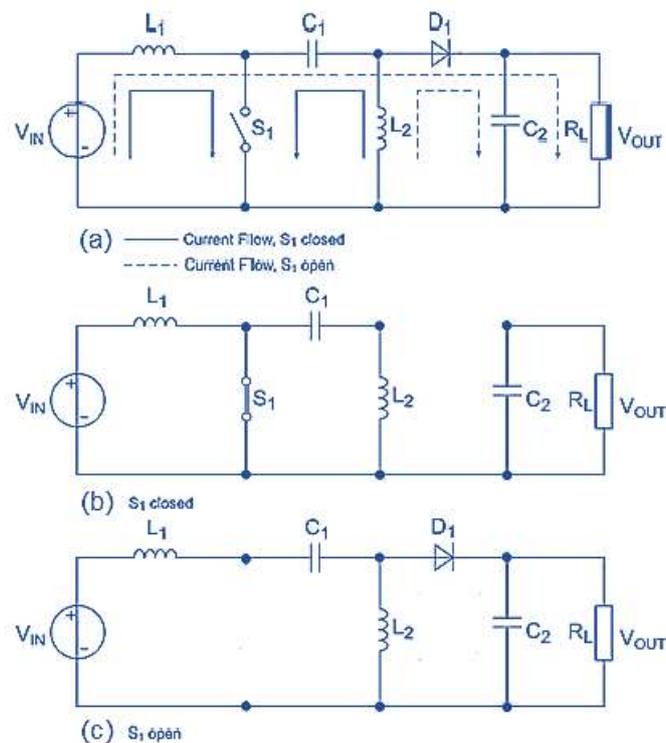


Gambar 2.1 Topologi SEPIC (Robert, 2016)

Pada topologi SEPIC, terdapat sebuah sumber tegangan arus searah (DC), dua buah induktor, dua buah kapasitor, sebuah saklar, sebuah dioda, dan sebuah beban yang menjadi titik tegangan keluaran. Komponen induktor dan kapasitor mempunyai sifat menyimpan energi listrik. Salah satu dari dua buah induktor dan kapasitor pada SEPIC akan berfungsi sebagai penyaring sehingga dapat memperkecil *ripple*. Saklar pada SEPIC berfungsi, sebagaimana yang telah disebutkan sedikit sebelumnya, sebagai titik pengaturan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Saat saklar tertutup induktor dan kapasitor akan menyimpan energi dan saat terbuka energi tersebut akan dilepas sehingga energi yang sampai pada beban atau nilai tegangan keluaran akan meningkat atau menurun akibat dari besar energi yang telah tersimpan oleh induktor dan kapasitor sebelumnya. Waktu terbuka atau tertutup dari saklar ini disebut sebagai *duty cycle* yang kemudian berfungsi sebagai titik pengaturan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan. Adapun dioda pada SEPIC berfungsi untuk memastikan arah arus atau polaritas dari tegangan keluaran.

II. 1. 2 Prinsip Kerja SEPIC

SEPIC bekerja dengan memanfaatkan mode *Continuous Conduction Mode* (CCM) yang mana arus yang melewati konduktor tidak pernah nol (Prasetyo, 2015). Terdapat dua keadaan kerja dari SEPIC dalam mode CCM, yaitu saat saklar tertutup dan saat terbuka. Sakelar ini tertutup dan terbuka secara bergantian dengan frekuensi yang biasanya tinggi. Adapun arah arus dari dua keadaan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.2 SEPIC pada Dua Keadaan (Robert, 2016)

Dalam mode CCM, saklar pada SEPIC akan terbuka dan tertutup secara bergantian dalam frekuensi yang tinggi sehingga dalam satu siklus, dapat dikatakan saklar akan tertutup selama D waktu dan terbuka selama $(1 - D)$ waktu. Dalam keadaan saklar tertutup, dioda akan mengalami bias mundur sehingga menjadi saklar terbuka seperti pada Gambar 2.2 (b). Di samping itu, L_1 akan dialiri arus oleh V_{IN} , C_1 akan dialiri arus oleh L_2 , dan beban akan dialiri arus oleh C_2 . Untuk masing-masing persamaannya dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_{IN} = V_{L1} \quad (2.1)$$

$$V_{C1} = V_{L2} \quad (2.2)$$

$$I_{OUT} = -I_c \quad (2.3)$$

Dalam keadaan saklar terbuka, dioda akan mengalami bias maju sehingga menjadi sakelar tertutup Gambar 2.2 (c). Berdasarkan hukum Kirchoff yang dapat diberlakukan pada *loop* sebelah kiri, akan didapatkan persamaan (2.4). Namun, V_{L1} dan V_{L2} bernilai nol sehingga persamaannya menjadi persamaan (2.5). Dari persamaan (2.5) dan persamaan (2.4) diturunkan menjadi persamaan (2.6) yang dapat dilihat di bawah ini.

$$-V_{IN} + V_{L1} + V_{C1} - V_{L2} = 0 \quad (2.4)$$

$$V_{C1} = V_{IN} \quad (2.5)$$

$$V_{L1} = V_{L2} \quad (2.6)$$

Pada Gambar 2.2 (c), dioda dianggap sebagai saklar ideal sehingga L_2 , C_2 , dan R_L tersusun paralel yang membuat tegangan pada ketiganya sama besar dan dapat dituliskan ke dalam persamaan (2.7). Dengan menyamakan persamaan (2.1), (2.6), dan (2.7) yang mana persamaan (2.1) adalah saat saklar tertutup dalam suatu waktu D dan persamaan (2.7) adalah saat saklar terbuka dalam suatu waktu $(1 - D)$, maka didapatkan persamaan (2.8) yang kemudian dapat digunakan sebagai pengaturan nilai tegangan keluaran dari SEPIC. Berikut adalah persamaannya.

$$V_{L2} = V_{C2} = V_{OUT} \quad (2.7)$$

$$(1 - D) \times V_{OUT} = V_{IN} \times D$$

$$V_{OUT} = \frac{D}{1 - D} \times V_{IN} \quad (2.8)$$

Jika melakukan kalkulasi lebih lanjut pada persamaan-persamaan sebelumnya dengan menggunakan prinsip induktansi dan tegangan pada kapasitor, maka akan didapatkan persamaan untuk menentukan penggunaan nilai induktansi dan kapasitansi pada SEPIC. Adapun persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut (Gofar, 2016).

$$L_1 = L_2 \geq \frac{V_{IN} D}{\Delta i_{L1,L2} f} \quad (2.9)$$

$$C_1 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_{C1}}{V_{OUT}} \right) f} \quad (2.10)$$

$$C_2 = \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_{OUT}}{V_{OUT}} \right) f} \quad (2.11)$$

Pada persamaan di atas, nilai f merupakan besar frekuensi yang akan digunakan pada pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). D_{max} merupakan maksimum *duty cycle* dari PWM. Untuk nilai $\Delta i_{L1,L2}$, ΔV_{C1} , dan ΔV_{OUT} dihitung berdasarkan $\Delta V_{IL1,IL2} = ripple \times I_{in}$, $\Delta V_{C1} = ripple \times V_{in}$, $\Delta V_{C2} = ripple \times V_{out}$.

II. 2 Pengontrol *Proporsional Integral Derivative* (PID) dan *Proporsional Integral* (PI)

Lebih dari setengah abad, PID telah menjadi tulang punggung keberhasilan pengontrolan beragam variabel proses industri. Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang bergerak dalam bidang proses. Menurut sebuah survei dinyatakan bahwa 97% industri yang bergerak dalam bidang tersebut menggunakan PID dalam pengontrolannya. Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatarbelakangi beberapa hal, diantaranya (Setiawan, 2015):

- Kesederhanaan struktur kontrol: Selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (*tuning*), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitif mudah dipahami oleh operator.
- PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang (sekitar tahun 1930-an).
- Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjuk kerja yang relatif memuaskan, baik digunakan sebagai sistem regulator (sistem kontrol dengan *setpoint* konstan dan beban cenderung berubah-ubah), maupun sebagai sistem servo (sistem kontrol dengan *setpoint* yang berubah dan beban cenderung konstan).

Pengontrol PID dapat bekerja masing-masing atau berpasangan PI atau PD, tetapi pada pengendalian sistem *loop* tertutup, pengontrol PI adalah yang paling umum digunakan. Dalam hal ini, pengontrol PID tidak dapat digunakan atau bekerja dengan baik pada semua jenis *plant* atau bidang yang akan dikendalikan (Dwyer, 2009).

Kendali PID terdiri dari tiga aksi, yaitu *proportional* (K_p), *integral* (K_i), dan *derivative* (K_d), sedangkan kendali PI hanya terdiri dari dua dari tiga aksi tersebut (Srun, 2018). Prinsip kerja dari kendali PID atau PI adalah dengan menggunakan nilai error dari selisih nilai target atau *setpoint* dan nilai keluaran dari *plant* lalu dikalkulasi dengan menggunakan rumus yang dapat dilihat pada persamaan (2.12) untuk kendali PID dan persamaan (2.13) untuk kendali PI (Afandy, 2022).

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

atau

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2.12)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

atau

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (2.13)$$

Dimana $u(t)$ adalah nilai keluaran pengontrol PID atau PI dan $e(t)$ adalah nilai error yang menjadi masukan ke pengontrol PID atau PI. Adapun K_p , K_i , dan K_d masing-masing adalah konstanta atau *gain* dari aksi *proportional*, *integral*, dan *derivative*.

II. 3 Metode *Tuning* PID

Salah satu tahap yang sangat penting dalam proses kendali PID adalah proses *tuning* atau penyetelan nilai numerik untuk koefisien dari parameter PID. Proses *tuning* PID dilakukan untuk menemukan parameter pengontrol (K_p , K_i , dan K_d) yang optimal agar sistem atau bidang yang dikendalikan dapat menunjukkan kinerja yang sesuai dengan kebutuhan, seperti respon

yang cepat, stabil, dan mengurangi *overshoot* (lonjakan) atau *steady-state error* (kesalahan dalam keadaan tetap). Terdapat beberapa metode *tuning* PID yang umum digunakan, seperti metode manual atau *trial-error*, Ziegler-Nichols, *Genetic Algorithm*, *Particle Swarm Optimization*, dan *Fuzzy Logic*.

II. 3. 1 Metode Ziegler-Nichols (ZN)

Metode Ziegler-Nichols (ZN) adalah metode *tuning* PID klasik yang telah digunakan secara luas, baik dalam bentuk originalnya maupun dalam bentuk yang telah dimodifikasi. Dalam metode ini, parameter K_p , K_i , dan K_d ditentukan berdasarkan respon sistem terhadap uji eksperimental, seperti perubahan tanggapan terhadap *setpoint* atau gangguan. Parameter PID kemudian dihitung berdasarkan karakteristik respon yang diamati. Terdapat dua parameter pada metode ini, yaitu *ultimate gain* (K_u) dan *ultimate period* (T_u). *Ultimate gain* (K_u) adalah nilai penguatan proporsional (K_p) pada pengontrol PID yang diterapkan pada sistem tertentu yang menghasilkan osilasi yang berkesinambungan dan amplitudo tetap. Sedangkan, *ultimate period* (T_u) adalah periode dari osilasi tersebut. Adapun parameter kontrol berdasarkan teori Ziegler-Nichols dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Åström, 2002).

Tabel 2.1 Parameter Pengontrol PID dengan Metode Tuning Ziegler-Nichols

| Parameter | K | T _i | T _d |
|-----------|------------|----------------|----------------|
| P | 0.5 K_u | - | - |
| PI | 0.45 K_u | 0.83 T_u | - |
| PID | 0.6 K_u | 0.5 T_u | 0.125 T_u |

Parameter dari tabel di atas dapat ditentukan dengan beberapa langkah. Langkah pertama yaitu menentukan K_u dengan menghubungkan kendali PID dengan sistem, lalu mengatur kendali aksi proporsional saja dengan $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Setelah itu, tingkatkan nilai K_p secara perlahan hingga sistem mulai merespon dengan osilasi yang berkesinambungan dan memiliki amplitudo yang tetap. Osilasi ini bisa berupa osilasi yang sangat kecil atau besar, bergantung pada kondisi awal sistem dan

parameter lain yang digunakan. Catat nilai K_p tersebut sebagai nilai K_u dan catat periode osilasi saat K_p mencapai nilai K_u sebagai T_u . Dengan nilai K_u dan T_u inilah yang akan digunakan dengan nilai yang terdapat pada Tabel 2.1 untuk menghasilkan parameter K_p , K_i , dan K_d .

II. 3. 2 Metode Genetic Algorithm (GA)

Genetic Algorithm (GA) merupakan salah satu teknik optimasi yang berbasis metaheuristik yang terinspirasi dari proses evolusi biologi (Ali, 2020). Berdasarkan teori evolusi, sejumlah individu dalam suatu populasi akan melakukan adaptasi dari generasi ke generasi. Dalam hal ini, induk (*parent*) akan melakukan proses reproduksi untuk menghasilkan keturunan (*offspring*). Lebih spesifik pada metode GA, individu juga dapat disebut sebagai kromosom yang terdiri dari sejumlah gen. Kromosom dari perkawinan *parent* akan mengalami persilangan atau rekombinasi (*crossover*) dan mutasi dalam bereproduksi sehingga memberikan unsur gen gabungan atau hasil rekombinasi pada *offspring* dan melahirkan individu-individu terbaik. Adapun langkah-langkah dalam algoritma genetika adalah sebagai berikut.

1) Inisialisasi

Proses dalam algoritma genetika diawali dengan inisialisasi, yaitu menciptakan individu-individu secara acak yang memiliki susunan gen (kromosom) tertentu. Kromosom ini mewakili solusi dari permasalahan yang akan dipecahkan. Dalam proses ini, masing-masing individu akan dihitung *fitness value*-nya. Jadi, setiap individu tersebut memiliki dua informasi, yaitu kromosom dan *fitness value* (representasi nilai kesesuaian suatu individu terhadap permasalahan optimasi). Selain itu, terdapat penentuan jumlah generasi yang merepresentasikan jumlah iterasi yang akan dilakukan.

2) *Crossover*

Proses *crossover* adalah representasi proses kawin silang untuk menghasilkan *offspring*. Induk yang akan dikawinkan dipilih secara acak dari individu dalam populasi, kemudian informasi genetika kedua

induk disilangkan secara acak. Proses ini kemudian menghasilkan keturunan yang diharapkan memiliki *fitness value* yang lebih baik dibandingkan kedua induknya, meskipun tidak menutup kemungkinan *fitness value*-nya lebih buruk (Zukhruf, 2020).

3) *Mutation*

Proses ini merepresentasikan proses mutasi genetik yang umum terjadi dalam proses genetika makhluk hidup yang dapat melibatkan perubahan secara signifikan. Mutasi memiliki peran dalam melakukan eksplorasi pada ruang pencarian dan menghindarkan GA dari solusi lokal optimal.

4) Seleksi

Proses seleksi dilakukan untuk memilih individu dari himpunan populasi dan *offspring* yang akan dipertahankan hidup pada generasi berikutnya. Ada banyak metode dalam melakukan proses seleksi ini. Proses Seleksi menjadi salah satu bagian penting dalam metode ini karena jumlah individu harus tetap dalam sebuah populasi hingga akhir generasi.

Setelah melewati sekian iterasi (generasi) akan didapatkan individu terbaik. Individu terbaik ini mempunyai susunan kromosom yang bisa dikonversi menjadi solusi yang terbaik (paling tidak mendekati optimum). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa algoritma genetika menghasilkan suatu solusi optimum dengan melakukan pencarian di antara sejumlah alternatif titik optimum (Mahmudy, 2015).

II. 3. 3 Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah salah satu teknik optimasi stokastik yang terinspirasi dari kawanan burung, kawanan ikan, atau perilaku sosiologis sekelompok orang (Rajendra, 2011). Metode ini memiliki kesamaan dengan GA yaitu pada proses inisiasi dengan bilangan acak dan hasil optimum berdasarkan proses iterasi. Kandidat solusi yang berpotensi dalam metode PSO disebut sebagai partikel. Setiap partikel ini

memiliki *position* (posisi) dan *velocity* (kecepatan) (Arkeman, 2014). Setiap posisi memiliki *value* (nilai) yang diperoleh dengan mengevaluasi posisi terhadap *objective function* (fungsi tujuan). Setiap partikel memperbaharui posisi mereka berdasarkan vektor kecepatannya. Adapun proses dalam algoritma PSO adalah sebagai berikut.

1) Inisialisasi

Proses awal dalam metode PSO adalah inisialisasi, yaitu penentuan populasi yang berisi sejumlah partikel dan penentuan jumlah variabel yang bergantung pada berapa banyak variabel yang akan dioptimasi. Banyak variabel inilah yang kemudian menjadi vektor posisi partikelnya.

2) Iterasi

Proses iterasi dimulai dengan menghitung nilai dari fungsi objektif dan *fitness* dari masing-masing partikel sehingga dihasilkan kecepatan (*velocity*). Setelah itu, posisi setiap partikel akan diperbarui berdasarkan hasil perbandingan *fitness* atau *value* yang diinginkan. Setiap partikel akan memiliki *best position* atau *pbest* sementara, sedangkan nilai *fitness* yang paling tinggi akan menjadi *global best* atau *gbest* sementara. Perubahan posisi setiap partikel pada iterasi berikutnya akan mendekati *gbest* berdasarkan persamaan berikut:

$$v(t + 1) = w v(t) + c_1 r_1 [P_{best} - P(t)] + c_2 r_2 [G_{best} - P(t)] \quad (2.14)$$

$$x(t + 1) = x(t) + v(t + 1) \quad (2.15)$$

dimana x merepresentasikan posisi partikel, v adalah *velocity*, w adalah *inertia wight*, c_1 adalah faktor pembelajaran kognitif, dan c_2 mengindikasikan faktor pembelajaran sosial, serta r_1 dan r_2 adalah nilai acak yang berada di antara nol dan satu.

II. 3. 4 Metode *Fuzzy Logic*

Fuzzy Logic merupakan sebuah metode komputasi dengan variabel kata (*linguistic variable*) sebagai pengganti berhitung dengan bilangan yang dapat digunakan untuk menangani masalah ketidakpastian atau

ketidakjelasan. Meskipun penggunaan variabel kata tidak setepat bilangan, namun kata yang digunakan lebih dekat dengan intuisi manusia atau bahasa manusia yang berupa perkiraan dan tidak presisi seperti bahasa mesin (Setiawan, 2018).

Logika *fuzzy* umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), *noisy*, dan sebagainya. Logika *fuzzy* menjembatani bahasa mesin yang presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (*significance*) (Wahyuni, 2021). Konsep ini memungkinkan pengklasifikasian dan analisis data dengan menggunakan nilai keanggotaan yang berada dalam rentang antara 0 dan 1, daripada hanya nilai biner 0 atau 1. Dengan logika *fuzzy*, variabel-variabel dapat memiliki derajat keanggotaan dalam himpunan yang berbeda-beda, memungkinkan representasi yang lebih mendekati cara berpikir manusia. Dalam logika *fuzzy* sebuah nilai bisa bernilai benar dan salah secara bersamaan namun berapa besar kebenaran dan kesalahan suatu nilai tergantung kepada bobot keanggotaan yang dimiliki. Adapun tiga poin penting dalam konsep logika *fuzzy* adalah sebagai berikut.

1) *Fuzzification*

Fuzzification atau fuzzifikasi adalah perhitungan *fuzzy* yaitu pengubahan nilai tegas ke nilai *fuzzy*. Prosesnya adalah sebagai berikut: Suatu besaran analog dimasukkan sebagai masukan (*crisp input*), lalu input tersebut dimasukkan pada batas *scope* dari *membership function*. *Membership function* ini biasanya dinamakan *membership function input*. Keluaran dari proses fuzzifikasi ini adalah sebuah nilai *input fuzzy*. Adapun fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1, salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan melalui pendekatan fungsi, seperti representasi kurva linier, segitiga, trapezium, bentuk

bahu, kurva-s, bentuk lonceng (*bell curve*). Terdapat pula operasi dasar yang biasa digunakan, seperti operator AND atau *intersection* (min), OR atau *union* (max), dan NOT atau *complement* (Wahyuni, 2021).

2) *Inference* atau *Rule Base Inference*

Rule Base Inference adalah sistem *fuzzy* yang memiliki fungsi untuk melakukan pengambilan keputusan dengan konsep logika *fuzzy*. Dalam *inference system*, masukan *fuzzy* diolah dengan aturan IF-THEN yang telah ditetapkan pada basis pengetahuan *fuzzy*.

3) *Defuzzification*

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk *fuzzy*, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Bentuk tersebut akan diubah kembali menjadi variabel numerik non-*fuzzy* melalui proses defuzzifikasi.

Struktur umum dari kontroler logika *fuzzy* (FLC), atau *fuzzy controller* (FC) singkatnya, terdiri dari tiga bagian dasar yang telah disebutkan sebelumnya. Tujuan dari langkah fuzzifikasi dalam FLC adalah untuk membuat sinyal masukan kompatibel dengan basis aturan kontrol *fuzzy* di inti pengontrol. Secara umum, pengontrol logika *fuzzy* universal untuk sistem pelacakan *set-point* loop tertutup pada subbagian dan fungsi keanggotaan harus dipilih oleh perancang sesuai dengan aplikasi tertentu dalam bidang yang dikontrol atau *plant*. Dengan kata lain, tergantung pada sifat dan karakteristik *plant* yang diberikan dan sinyal referensi, FLC harus dirancang agar sesuai dengan kebutuhan, sehingga membuat sistem kontrol *fuzzy* loop tertutup bekerja sesuai keinginan. Peran mesin inferensi dalam FLC adalah kunci untuk membuat pengontrol bekerja secara efektif. Sedangkan, modul defuzzifikasi dalam FLC adalah koneksi antara basis aturan kontrol dan instalasi fisik yang akan dikendalikan. yang berperan sebagai pengubah yang memetakan output pengontrol kembali ke nilai *crisp* yang dapat diterima *plant* (Chen, 2001).

II. 4 Spesifikasi Karakteristik Kinerja Sistem Kontrol

Seringkali, karakteristik kinerja sistem kontrol dispesifikasikan dalam bentuk respon transien unit input step dalam menghitung respon suatu sistem terhadap perubahan input. Tanggapan transien ini bergantung pada kondisi awal yang kemudian akan dibandingkan dengan keadaan pada waktu berikutnya hingga keadaan tunak. Karakteristik sistem kontrol pada umumnya dapat dispesifikasikan sebagai berikut (Ogata, 2010).

- 1) Waktu tunda atau *delay time* (t_d) merupakan waktu yang dibutuhkan suatu tanggapan untuk mencapai suatu nilai selain nol pertama kali.
- 2) Waktu bangkit atau *rise time* (t_r) merupakan waktu yang dibutuhkan suatu tanggapan bangkit dari 10 % ke 90 %, 5 % ke 90 %, atau 0 % ke 100% dari nilai akhirnya.
- 3) Waktu puncak atau *peak time* (t_p) adalah waktu yang dibutuhkan suatu tanggapan untuk mencapai puncak *overshoot* pertama kali.
- 4) *Maximum (percent) overshoot* (M_p) adalah nilai puncak maksimum dari kurva respon dari satuan ukur. Jika nilai mantap atau *steady-state* berbeda dengan nilai target, maka nilai puncak akan diselisihkan dengan nilai *steady-state* lalu dibandingkan dengan nilai *steady-state* itu sendiri.
- 5) *Settling time* (t_s) merupakan waktu yang diperlukan kurva respon mencapai suatu nilai tetap hingga akhir.

Spesifikasi domain waktu di atas cukup penting karena sebagian besar sistem kontrol adalah domain waktu. Perlu diketahui bahwa tidak semua spesifikasi tersebut berlaku untuk setiap kasus.