TUGAS AKHIR – EE184801

DESAIN DAN SIMULASI SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

Wahyu Prihartopo
NRP 07111340000007

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

TUGAS AKHIR – EE184801

DESAIN DAN SIMULASI SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

Wahyu Prihartopo
NRP 07111340000007

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

FINAL PROJECT – EE184801

DESIGN AND SIMULATION OF ACTIVE POWER MANAGEMENT SYSTEM FOR SOLAR UNMANNED AERIAL VEHICLE

Wahyu Prihartopo
NRP 07111340000007

Supervisors
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **"DESAIN DAN SIMULASI SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip mapupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019

Wahyu Prihartopo
07111340000007

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN SIMULASI SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.	Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198006032006041003	NIP. 198101182003121003

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

SURABAYA
JULI, 2019

Scanned with

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN SIMULASI SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

Nama mahasiswa : Wahyu Prihartopo
Dosen Pembimbing I : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak :

Pesawat tanpa awak merupakan teknologi pesawat membutuhkan durasi penerbangan lama sebagai alat monitoring yang terbatas dengan sumber baterai. Photovoltaik merupakan sumber energi terbarukan yang rendah emisi ramah lingkungan, mudah dalam pengoperasian, dan banyak dikembangkan di dunia. Photovoltaik pada pesawat tanpa awak ini juga memiliki keterbatasan dalam beroperasi dalam mensuplai beban sehingga dibutuhkan baterai sebagai energi *storage*. Permasalahan ketika photovoltaik tidak mampu menyuplai beban yang membutuhkan energi lebih banyak maka dibutuhkan koordinasi antara baterai dengan daya yang dihasilkan photovoltaik untuk memenuhi kebutuhan beban secara optimal pada daya beban pesawat tanpa awak. Photovoltaik dan baterai harus bekerja secara efisien.

Oleh karena itulah, ditawarkan sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya untuk mengoptimalkan daya yang disalurkan pada beban pesawat tanpa awak bertenaga surya sebagai pemantauan daya keluaran dengan mempertimbangkan SOC dan tegangan *cut off* baterai *lithium polymer* dengan kapasitas daya beban. Dengan daya sel surya sebesar 150 W, penelitian ini mampu mengoptimalkan daya keluaran baterai hingga 23 W dengan kapasitas baterai 6000 mAh dan tegangan nominal 15 V. Selain itu, baterai *lithium polymer* dipastikan tidak mengalami *overcharging*.

Kata kunci : Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya, Baterai *Lithium Polymer*, Aktif Manajemen Daya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND SIMULATION OF ACTIVE POWER MANAGEMENT SYSTEM FOR SOLAR UNMANNED AERIAL VEHICLE

Student Name : Wahyu Prihartopo
Supervisor I : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Supervisor II : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract :

Unmanned aerial vehicle is an airplane technology who need long flight duration as a limited monitoring tool with energy batteries. Photovoltaics is a low-emission energy source that environmentally friendly, easy to operate, and widely developed in the world. Photovoltaics on these unmanned aerial vehicle also have limitations in operating supplying to load so that needed of battery as storage energy. The problem when photovoltaic. The problem photovoltaic is not able to supply load that require more energy then required coordination between the battery with the power generated photovoltaic to meet the needs of the load optimally on the load power of unmanned aerial vehicle. Photovoltaics and battery must work efficiently.

Hence, an active power management system is offered on a solar unmanned aerial vehicle to optimize the power supplied to the solar unmanned aerial vehicle load for monitoring output power by considering the SOC and cut off voltage of lithium polymer battery with power capacity load. With a solar cell power of 150 W, this study is able to optimize battery power output up to 23 W with a battery capacity of 6000 mAh and a nominal voltage of 15V. In addition, lithium polymer battery certainly do not experience overcharging.

Keywords : *Solar Unmanned Aerial Vehicle, Lithium Polymer Battery, Active Power Management*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir. Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Buku penelitian ini dapat terselesaikan atas bantuan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga besar bapak Widyo Wignyo Suharjo Widodo yang merupakan keluarga tercinta dan senantiasa memberikan semangat, dukungan dan doa yang sangat berarti.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D. dan Ronny Mardiyanto, ST., MT., Ph.D yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan beberapa saran dan masukan yang sangat penting bagi penulis hingga terselesaikannnya Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan pengetahuan-pengetahuan sebagai ilmu pendukung untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman Laboratorium Konversi Energi Listrik di Departemen Teknik Elektro ITS yang telah membantu dan mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Tim Robot yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.
6. Muhammad Ridwan, Fahad Al-Hazmi, Putra Tri Mardian Asri, Putut Dwi Wijaya, dan Rizki Mendung yang telah memberikan bantuan dan saran dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini.
7. Mas Windy, Mas Irfan Bachrudin, Mas Rimby, Manas Zulfikar, Dek Serly, teman-teman Minions Badminton Club dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang memberikan bantuan, dukungan dan motivasi demi terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Pada kesempatan ini penulis mengharapkan kritik dan saran, demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Wahyu Prihartopo
07111340000007

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR v
ABSTRAK ix
ABSTRACT xi
KATA PENGANTAR xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xxi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Permasalahan 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Batasan Masalah 3
1.5 Metodologi 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
1.7 Relevansi 5
BAB 2 SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA 7
2.1 Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya 7
2.2 Permodelan Panel Surya 9
2.3 Konverter Buck 12
2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT) 15
2.5 Kontrol Logika *Fuzzy* 16
2.6 Baterai Lithium Polymer 18
2.7 Konverter Bidirectional 19
2.8 Analisis kondisi dinamis 21
BAB 3 DESAIN DAN PEMODELAN 23
3.1 Diagram Blok Sistem 23
3.2 Parameter Sistem Aktif Manajemen Daya 24
3.2.1 Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya 24
3.2.2 Sel Surya (Photovoltaic Cell) 25
3.2.3 Baterai 25
3.3 Desain Konverter *Buck* 26
3.4 Desain Kontrol Logika *Fuzzy* 29
3.5 Konverter *Bidirectional* 32
3.6 Konverter pada Kondisi Dinamis (*close loop*) 36

3.7 Pemodelan Sistem Aktif Manajemen Daya.....37
3.7.1 Desain Kontrol 37
3.7.2 Desain MPPT dengan Logika *Fuzzy* 39
3.8 Skenario Kondisi Sistem Aktif Manajemen Daya.....40
3.8.1 Skenario Pertama.....41
3.8.2 Skenario Kedua 43
3.8.3 Skenario Ketiga 45
3.8.4 Skenario Keempat 47
BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA.....51
4.1 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Pertama.....51
4.2 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Kedua 57
4.3 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Ketiga 57
4.4 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Keempat 58
BAB 5 PENUTUP.....61
5.1 Kesimpulan.....61
5.2 Saran.....61
DAFTAR PUSTAKA.....63
LAMPIRAN.....65
BIODATA PENULIS.....67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Topologi Sistem Kelistrikan Solar UAV 7
Gambar 2. 2 Perbandingan Berat Pada Teknologi Pesawat 7
Gambar 2. 3 Perbandingan Berat Pada Teknologi Pesawat 8
Gambar 2. 4 Pemodelan Panel Surya 9
Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Panel Surya 11
Gambar 2. 6 Karakteristik Panel Surya Terhadap Iradiansi Dan Suhu.. 12
Gambar 2. 7 Rangkaian Konverter Buck 13
Gambar 2. 8 Mode Saklar ON 13
Gambar 2. 9 Mode Saklar Off 14
Gambar 2. 10 Maximum Power Point Pada Panel 15
Gambar 2. 11 Arsitektur Sistem MPPT 16
Gambar 2. 12 Klasifikasi Fungsi Keanggotaan pada Fuzzy 17
Gambar 2. 13 Struktur Baterai Lithium-Ion Polymer 18
Gambar 2. 14 Skema Kinerja Konverter Bidirectional 20
Gambar 2. 15 Diagram Blok Sistem saat Kondisi Dinamis 21
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Aktif Manajemen Daya..... . 23
Gambar 3. 2 Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya 24
Gambar 3. 3 Desain Konverter Buck 26
Gambar 3. 4 Prinsip Kerja Kontrol Logika Fuzzy 29
Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan Error 30
Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Perubahan Error 30
Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan Perubahan Duty Cycle 31
Gambar 3. 8 Kontroler PI untuk Konverter Bidirectional 32
Gambar 3. 9 Hasil Simulasi Tegangan, Arus, dan Daya Konverter Bidirectional 33
Gambar 3. 10 Topologi Rangkaian Konverter Bidirectional 33
Gambar 3. 11 Rangkaian Konverter Bidirectional, a) Mode Boost; b) Mode Buck 34
Gambar 3. 12 Simulasi Kondisi Dinamis saat Konverter Beroperasi secara Close Loop 37
Gambar 3. 13 Algoritma Sistem Aktif Manajemen Daya 38
Gambar 3. 14 Desain Motor DC *Brushless* 39
Gambar 3. 15 Desain MPPT dengan Konverter *Buck* 39
Gambar 3. 16 Pemodelan Algoritma Logika *Fuzzy* 40
Gambar 3. 17 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB 41
Gambar 3. 18 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array 42

Gambar 3. 19 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB 42
Gambar 3. 20 Aliran daya skenario pertama 43
Gambar 3. 21 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB 43
Gambar 3. 22 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array.....44
Gambar 3. 23 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB 44
Gambar 3. 24 Aliran daya skenario kedua.....45
Gambar 3. 25 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB 45
Gambar 3. 26 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array.....46
Gambar 3. 27 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB 46
Gambar 3. 28 Aliran daya skenario ketiga 47
Gambar 3. 29 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB 47
Gambar 3. 30 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array.....48
Gambar 3. 31 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB 48
Gambar 3. 32 Aliran daya skenario keempat.....49
Gambar 4. 1 Kenaikan SOC dan tegangan baterai ketika skenario pertama 52
Gambar 4. 2 Respon Perbandingan Daya dengan MPPT Metode Hill Climbing.....52
Gambar 4. 3 Respon Perbandingan Daya dengan MPPT Metode Fuzzy 53
Gambar 4. 4 Respon Tegangan Beban Resistif.....54
Gambar 4. 5 Respon Daya PV 54
Gambar 4. 6 Respon Daya Baterai 55
Gambar 4. 7 Respon SOC, Arus dan Tegangan Baterai.....55
Gambar 4. 8 Respon Daya Output BLDC 55
Gambar 4. 9 Respon Daya Input BLDC.....56
Gambar 4. 10 Respon Tegangan DC Bus.....56
Gambar 4. 11 Respon Perbandingan Daya PV, Baterai dan Motor BLDC 56
Gambar 4. 12 Nilai SOC dan tegangan baterai yang tetap ketika skenario kedua 57

Gambar 4. 13 Nilai SOC dan tegangan baterai yang tetap ketika skenario ketiga 58
Gambar 4. 14 Kenaikan SOC dan tegangan baterai ketika skenario keempat 59

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Karakteristik Baterai Lithium-Ion Polymer ... 19
Tabel 3. 1 Parameter Sel Surya 25
Tabel 3. 2 Spesifikasi Baterai 25
Tabel 3. 3 Parameter Rangkaian Konverter 26
Tabel 3. 4 Rule Kontrol Logika Fuzzy 31
Tabel 3. 5 Spesifikasi Konverter Bidirectional saat Mode Boost..... 34
Tabel 3. 6 Spesifikasi Konverter Bidirectional Mode Buck 35
Tabel 3. 7 Parameter BLDC 38
Tabel 3. 8 Parameter Penentuan Nilai Resistif Pada Beban..... 40
Tabel 3. 9 Parameter BLDC 41
Tabel 4. 1 Aliran daya sistem pada skenario pertama 51
Tabel 4. 2 Aliran daya sistem pada skenario kedua..... 57
Tabel 4. 3 Aliran daya sistem pada skenario ketiga 58
Tabel 4. 4 Aliran daya sistem pada skenario keempat..... 59

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengetahuan dan teknologi pada era global ini semakin berkembang pesat. Sumber energi konvesional yang tidak ramah lingkungan mulai ditinggalkan. Banyak sekali energi yang digunakan berasal dari bahan bakar fosil yang semakin lama akan semakin habis. Baterai merupakan salah satu energi banyak diaplikasikan di dunia teknologi sebagai sumber *storage*, tetapi baterai memiliki keterbatasan penyaluran daya saat digunakan. Bahkan banyak beberapa baterai memiliki *life time* yang pendek apabila dibebani dengan beban yang besar dan penggunaan secara kontinyu. Tetapi, jenis polimer merupakan salah satu jenis baterai yang memiliki *life time* lebih lama dibandingkan dengan jenis baterai yang lainnya. Sehingga dibutuhkan sumber yang mampu mendukung kinerja dari baterai tersebut.

Photovoltaik memiliki peluang yang besar untuk diaplikasikan pada kendaraan yang memiliki fungsi tertentu seperti pesawat tanpa awak. Pesawat tanpa awak memiliki banyak aplikasi yang sangat bermanfaat seperti untuk monitoring, alat militer, investigasi, dan observasi. Jika pesawat tanpa awak hanya mengandalkan baterai sebagai sumber energinya maka pesawat tanpa awak tersebut maka hanya akan mampu terbang dalam rentang waktu beberapa jam. Untuk memperpanjang durasi terbang dari pesawat tersebut, maka photovoltaik merupakan pilihan yang tepat sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan ringan.

Penelitian dan penggunaan photovoltaik banyak digunakan sebagai pusat perhatian dikarenakan photovoltaik merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, mudah dalam pengoperasian, dan masih banyak dikembangkan di dunia. Dengan mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik, photovoltaik merupakan sumber energi terbarukan dan rendah emisi. Photovoltaik dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan konvensional sebesar 92% [1]. Namun, photovoltaik adalah sumber energi non linier yang daya outputnya berubah bergantung pada iradiansi dan temperatur sekitar. Perubahan keluaran daya juga akan

sangat berpengaruh pada beban yang disalurkan pada saat penerbangan pesawat. Untuk memanfaatkan keluaran daya panel secara optimal pada beban pesawat tanpa awak maka dibutuhkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan kontrol logika *fuzzy* dapat mempercepat respon sistem terhadap perubahan iradiansi, serta mengurangi osilasi yang terjadi pada daya maksimum. Photovoltaik pada pesawat tanpa awak ini juga memiliki keterbatasan dalam beroperasi dalam mensuplai beban sehingga dibutuhkan baterai sebagai energi *storage*. Permasalahan ketika photovoltaik tidak mampu mensuplai beban yang membutuhkan energi lebih banyak maka dibutuhkan koordinasi antara baterai dengan energi yang dihasilkan photovoltaik untuk memenuhi kebutuhan beban secara optimal pada beban pesawat tanpa awak. Photovoltaik dan baterai harus bekerja secara efisien dan efisien.

Oleh karena itulah, diperlukan sistem manajemen yang digunakan untuk mengoptimalkan daya yang disalurkan pada beban pesawat tanpa awak bertenaga surya dengan metode aktif sebagai monitoring daya keluaran.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini meliputi sebagai berikut :

1. Bagaimana cara kerja aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya terhadap perubahan iradiansi?
2. Bagaimana cara kerja *charging* dan *discharging* baterai pada pesawat tanpa awak bertenaga surya?
3. Bagaimana cara mendesain dan mensimulasikann manajemen daya dengan metode aaktif akibat perubahan iradiansi?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara kerja aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya terhadap perubahan iradiansi yang disimulasikan pada software MATLAB 2016a.
2. Mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan aktif manajemen daya.

3. Mendesain dan mensimulasikan sistem *charging* dan *discharging* baterai *lithium polymer*.
4. Menganalisa hasil simulasi aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya terhadap perubahan iradiansi yang disimulasikan pada software MATLAB 2016a.

1.4 Batasan Masalah

Target dari tugas akhir ini adalah mensimulasikan sistem aktif manajemen daya pada aplikasi pesawat tanpa awak bertenaga surya. Agar didapatkan hasil yang optimal, maka tugas akhir ini terbatas pada pembuatan desain dan simulasi. Maka batasan masalah yang tidak dapat dilakukan pada tugas akhir ini karena keterbatasan teknologi dan waktu antara lain:

1. Program simulasi yang digunakan adalah MATLAB.
2. Desain dan simulasi sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya.
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan beban resistif dan motor BLDC.
4. Analisa dan perhitungan dilakukan pada kondisi ideal.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
   Mengumpulkan dan mempelajari buku, jurnal, paper dan *proceeding* dari berbagai sumber mengenai keseluruhan dari sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya. Mulai dari spesifikasi masing-masing komponen seperti *PV*, konverter *buck*, konverter *bidirectional*, metode aktif manajemen daya, metode *charging/discharging* dan metode *MPPT (Maximum Power Point Tracking)* yang akan digunakan.
2. Desain Rangkaian
   Menentukan spesifikasi dan komponen-komponen yang akan digunakan. Maka akan dilakukan desain dan analisa terhadap sistem aktif manajemen daya pada software MATLAB dan akan dilakukan penurunan rumus agar nilai dari komponen pada

konverter *buck* dan konverter *bidirectional* dapat ditentukan sesuai arus yang diharapkan dalam melakukan *charging* baterai.

3. Simulasi Rangkaian

   Dilakukan simulasi sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya. Dari hasil analisa desain, dapat ditentukan nilai komponen-komponen parameter yang akan digunakan dan disesuaikan pada blok Simulink MATLAB. Hal ini agar tercapai tujuan dalam pelaksanaan Tugas Akhir.

4. Analisa Data

   Setelah simulasi telah selesai dilakukan maka akan dilakukan analisa terhadap hasil simulasi yang telah didapat terhadap mode-mode yang telah disimulasikan, pengaruh dari intensitas cahaya dan peningkatan beban.

6. Kesimpulan

   Pada akhir penelitian akan ditarik kesimpulan berdasarkan analisa yang telah dilakukan dan berisi tentang saran untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi Tugas Akhir ini.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang dasar teori mengenai aktif manajemen energi pesawat tanpa awak bertenaga surya menggunakan sensor tegangan dan arus dengan memperhatikan iradiansi cahaya matahari .

BAB III Desain dan Pemodelan

Bab ini berisi tentang desain dan pemodelan dari aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya dengan memperhatikan perubahan iradiansi cahaya matahari dan kebutuhan beban.

BAB IV Simulasi dan Analisa Data

Bab ini berisi tentang simulasi sistem baik saat menjadi satu sistem maupun saat terpisah-pisah. Selain itu pada bab ini juga berisi tentang analisis data dari hasil simulasi desain dan pemodelan aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya.

BAB V Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari proses desain dan simulasi topologi aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya. Selain itu, pada bab ini juga berisi tentang saran-saran, Sehingga bisa didapatkan performa sistem yang lebih baik lagi.

1.7 Relevansi

Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

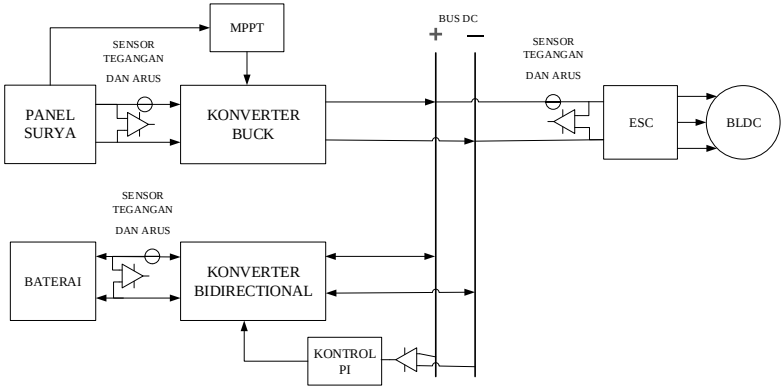
1. Dapat diimplementasikannya pesawat tanpa awak dengan menggunakan sumber energi sel surya untuk mengatasi sumber energi yang terbatas saat melakukan penerbangan.
2. Dapat digunakan menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya untuk dikembangkan menggunakan energi sistem hibrid dengan tambahan *fuel cell* ataupun *supercapasitor* sebagai sumber storage yang mampu membackup PV ketika malam hari dengan kondisi baterai yang berkurang.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lain yang hendak mengambil masalah tentang manajemen daya pesawat tanpa awak yang serupa untuk Tugas Akhir-nya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

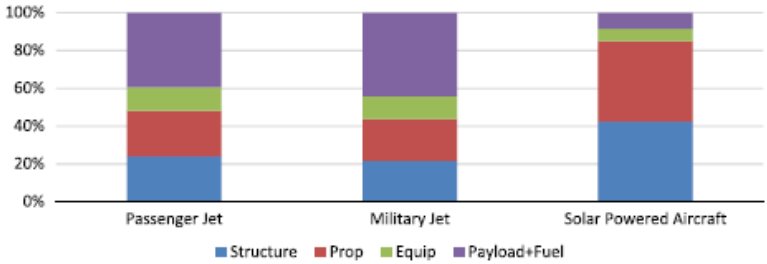
BAB 2
SISTEM AKTIF MANAJEMEN DAYA PADA PESAWAT TANPA AWAK BERTENAGA SURYA

2.1 Pesawat Tanpa Awak Tenaga Surya

Pesawat tanpa awak tenaga surya mulai diminati untuk aplikasi pengamatan dan patroli, untuk memenuhi aplikasi ini pesawat panel surya harus dapat terbang selama jangka waktu yang panjang. Sebagai sumber tenaga pesawat menggunakan energi dari panel surya dan baterai. Agar beban pada baterai dan panel surya tidak terlampau besar maka diperlukan pesawat dengan efisiensi yang tinggi [2]. Pesawat tanpa awak tenaga surya memiliki arsitektur sistem kelistrikan seperti gambar 2.1

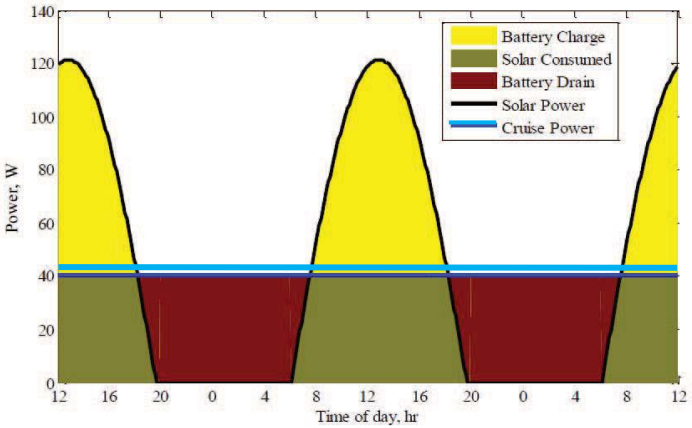


Gambar 2. 1 Topologi Sistem Kelistrikan Solar UAV



Gambar 2. 2 Perbandingan Berat Pada Teknologi Pesawat [3]

Panel surya sebagai sumber listrik utama dari pesawat tanpa awak tenaga surya. Maximum power point tracking digunakan untuk memastikan agar daya yang mengalir dari panel surya maksimal. Daya dari panel surya dapat dialirkan ke beban secara langsung maupun digunakan untuk charging baterai sebagai energi storage. Ketika intensitas matahari memliki nilai yang cukup beban berupa motor dan beban tambahan lain akan mengambil sumber energi langsung dari panel surya, namun ketika intensitas matahari tidak cukup maka sumber energi akan diambil dari baterai [4]. Pembagian peran antara baterai dan panel surya ini dijelaskan pada gambar 2.3



Gambar 2. 3 Perbandingan Berat Pada Teknologi Pesawat

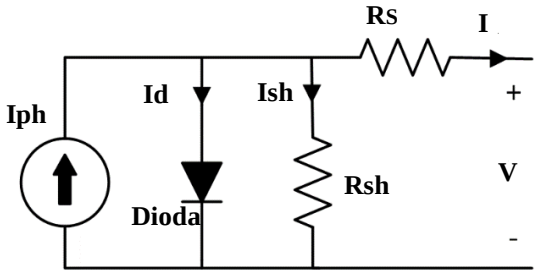
Pada pukul 0 hingga 6 matahari belum memancarkan sinar sehingga untuk terbang pesawat masih bergantung pada baterai,pada pukul 6 hingga 8 matahari mulai bersinar tetapi energi yang dapat dihasilkan panel sury masih belum cukup untuk menggerakkan pesawat sehingga baterai masih digunakan. Pukul 8 hingga 17 energi matahari lebih besar dari energi gerak pesawat sehingga motor menarik energi dari panel surya dan baterai mulai melakukan charging, setelah matahari terbenam siklus akan berulang kembali. Dengan penghitungan daya yang tepat serta iradians matahari yang cukup. Pada kondisi ideal pesawat bisa terus terbang di udara

2.2 Permodelan Panel Surya

Photovoltaic merupakan sebuah material yang dapat mengubah energi dari foton menjadi energi listrik. Foton dengan panjang gelombang yang cukup pendek dapat melepaskan ikatan elektron dari suatu atom. Elektron tersebut dapat mengalir pada suatu konduktor dan menjadi arus listrik. Energi untuk melepaskan ikatan tersebut didapat dari matahari, hal ini merupakan peluang yang cukup besar mengingat permukaan bumi menerima energi sebesar 6000 kali lipat dari total kebutuhan energi setiap harinya [5].

Sel surya merupakan sumber arus, besarnya arus yang mengalir dari panel surya bergantung pada intensitas cahaya matahari serta temperatur sel surya. Semakin besar intensitas cahaya matahari arus yang mengalir dari panel surya akan semakin besar, berbeda dengan temperatur, perubahan temperatur berbanding terbalik dengan arus yang mengalir dari sel. Energi yang dihasilkan satu sel sangat kecil, sehingga untuk menghasilkan daya yang besar sel surya perlu dibentuk menjadi sebuah modul yang terdiri dari banyak sel surya [6].

Sebuah PV sel dapat dimodelkan dalam bentuk rangkaian equivalen yang terdiri dari sumber arus, diode, serta hambatan internal yang direpresentasikan oleh resistor seperti yang tersusun pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Pemodelan Panel Surya

Resistansi Rs merupakan resistansi gabungan dari material pada panel. Nilai Rs bergantung pada resistansi pada blat besi maupun konduktor yang menghubungkan sel panel surya, serta resistansi antar junction p-n. Resistansi Rp muncul dikarenakan adanya arus bocor pada

p-n *junction* dan hal itu bergantung pada proses fabrikasi panel surya. Nilai Rp pada umumnya memiliki nilai besar sedangkan Rs kecil. Pada kondisi tertentu kedua parameter ini dapat diabaikan [6].

Rangkaian ekuivalen tersebut dapat digunakan untuk menentukan karakteristik dari modul. Karakteristik yang akan dicari adalah hubungan antara tegangan dan arus panel surya, serta tegangan dan daya dari panel surya. Hubungan dari ketiga variabel tersebut akan membentuk sebuah grafik karakteristik dari panel surya.

Temperatur merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kurva karakteristik panel surya, namun sangat sulit untuk mengetahui temperatur sesungguhnya dari suatu sel surya sehingga dilakukan pendekatan untuk mengukur suhu sel dari suhu panel surya [6]. Setiap sel dari panel surya menghasilkan arus (I_{ph}) yang nilainya dipengaruhi oleh iradiansi dari sinar matahari serta temperature sekitar. Untuk menghitung nilai Iph dapat digunakan.

$$I_{ph} = \frac{I_{sc} + K_i(T-298) \times I_r}{1000} \tag{2.1}$$

I_{sc} = arus hubung singkat dari sel surya

K_i = konstanta temperatur

I_r = intensitas cahaya matahari

T = temperatur sekitar

Nilai arus output akan dipengaruhi oleh nilai I_D dan I_{sh} sehingga nilai arus output bisa dihintung dengan menggunakan

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \tag{2.2}$$

Untuk menghitung arus yang mengalir pada diode digunakan persamaan berikut

$$I_D = I_o\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT}\right) - 1\right] \tag{2.3}$$

Io = arus saturasi dioda

V = tegangan panel surya

R_s = hambatan seri dari panel

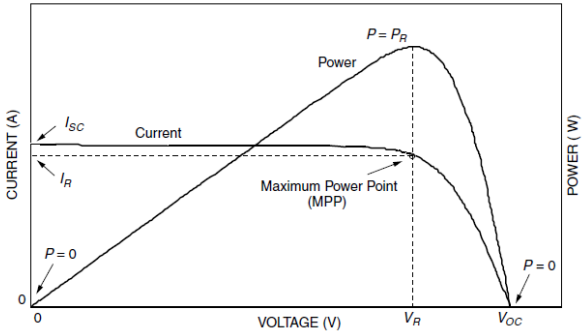
k = konstanta boltzman

q = muatan elektron

Sehingga didapatkan persamaan yang menghubungkan nilai arus dan tegangan yang keluar dari panel surya adalah

$$I=I_{ph}-I_o[\exp\left(\frac{V+IR_s}{nkT}\right)-1]-\frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

Dengan persamaan diatas operasi dari panel surya akan membentuk kurva karakteristik I-V. Pada iradiansi dan temperatur yang konstan titik operasi dari panel surya merupakan perpotongan antara kurva karakteristik I-V dan karakteristik beban. Titik operasi dari Panel bergerak dari resistansi nol yang menyebabkan Isc ke resistansi tak hingga yang menyebabkan muncul Voc [7].

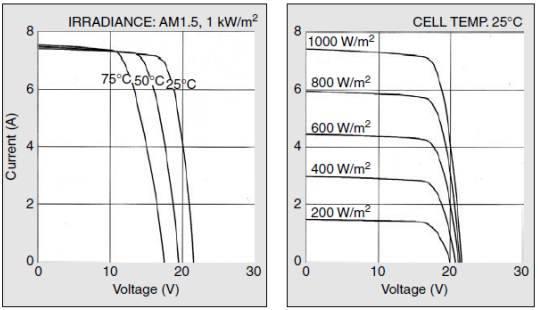


Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik Panel Surya

Daya maksimum berada pada titik dimana perkalian antara tegangan dan arus berada pada titik tertinggi, pada gambar 2.5 dapat dilihat panel surya bekerja pada daya maksimum ketika tegangan panel mencapai V_R. Untuk mencapai daya maksimum dapat dicapai dengan mengatur pembebanan. Dengan mengatur pembebanan maka arus yang

mengalir pada rangkaian akan dapat dikondisikan sehingga tegangan panel juga terkondisikan.

Performa dari panel surya dipengaruhi oleh dua hal, yaitu iradiansi dan temperatur. Perubahan iradiansi dan temperatur akan mengubah kurva karakteristik dari panel surya seperti dijelaskan pada gambar 2.6



Gambar 2. 6 Karakteristik Panel Surya Terhadap Iradiansi Dan Suhu[5]

Perubahan iradiansi akan berbanding lurus dengan meningkatnya nilai Isc, dan sedikit mengurangi nilai Voc. Sedangkan perubahan suhu berpengaruh pada besarnya open circuit voltage, semakin panas sebuah modul, maka nilai Voc dari modul tersebut akan semakin kecil. Titik daya maksimum dari panel bergeser dengan perubahan iradiansi dan temperatur, sehingga untuk memastikan panel bekerja dengan daya maksimum titik operasinya harus diatur menyesuaikan kondisi panel surya.

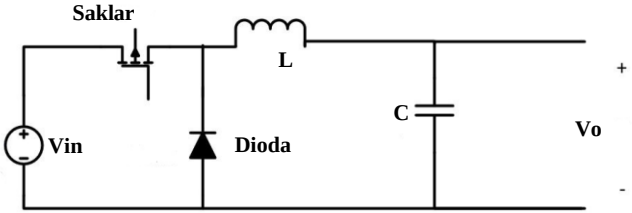
2.3 Konverter Buck

MPPT memiliki dua komponen penting, yaitu konverter dan algoritma pengontrol. Oleh sebab itu,pemilihan konverter yang tepat memegang peranan penting dalam menghasilkan daya yang optimal. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam memilih jenis konverter adalah aliran daya input dan output, biaya, fleksibilitas, serta respon terhadap karakteristik PV [8]. *DC DC converter* pada MPPT berguna sebagai aktuator untuk menyesuaikan besarnya arus yang mengalir dari panel surya agar berada di titik MPP dengan mengatur switching pada

mosfet. Konverter yang sering digunakan untuk mengkondisikan tegangan adalah konverter *buck*, konverter ini banyak digunakan dikarenakan konfigurasinya yang mudah serta karakteritiknya yang dapat menurunkan tegangan. Nilai tegangan output dari konverter *buck* dapat dihitung dengan persamaan

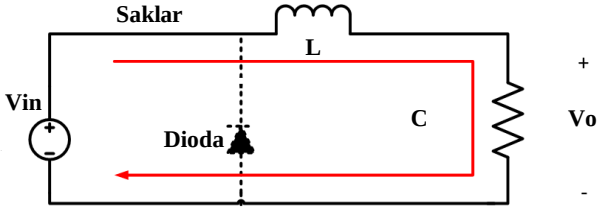
$$V_o = D \times V_{in} \tag{2.5}$$

Dalam penelitian ini akan digunakan konverter *buck* konvensional. Rangkaian *buck* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Rangkaian Konverter Buck

Konversi tegangan pada rangkaian *buck* bergantung pada rasio charge dan discharge dari induktor, prinsip kerja dari konverter ini terbagi dua yaitu pada saat saklar terbuka dan saklar tertutup. Masing masing prinsip kerja akan dijelaskan dengan lebih detail oleh gambar 2.8 dan 2.9

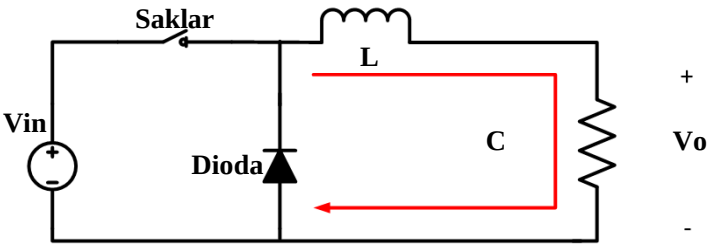


Gambar 2. 8 Mode Saklar ON

pada mode saklar on tegangan input akan charging induktor dan resistor.

$$V_{in} = V_L + V_{out} \tag{2.6}$$

$$V_{in} = \frac{L\Delta I}{T_{on}} + V_{out} \quad (2.7)$$



Gambar 2. 9 Mode Saklar Off

Pada saat mode saklar off, tegangan input terputus

$$V_L = V_{out} \quad (2.8)$$

$$\frac{L\Delta I}{Toff} = V_{out} \quad (2.9)$$

$$L\Delta I = V_{out} \times T_{off} \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.9 ke 2.6

$$V_{in} = \frac{V_{out} \times T_{off}}{T_{on}} + V_{out} \quad (2.11)$$

$$V_{in} = V_{out} \times \left(\frac{T_{off}}{T_{on}} + 1\right) \quad (2.12)$$

$$V_{in} = \frac{T_{off} + T_{on}}{T_{on}} \text{ x } V_{out} \quad (2.13)$$

$$V_{in} = \frac{T}{D \times T} \text{ x } V_{out} \quad (2.14)$$

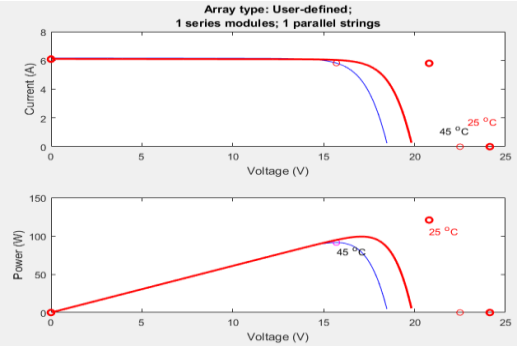
$$V_{out} = D\ V_{in} \quad (2.15)$$

Didapatkan bahwa nilai tegangan output dari konverter *buck* akan selaras dengan *duty cycle*nya. Dalam aplikasi MPPT ini, konverter *buck* sebenarya tidak dimanfaatkan sebagai penurun tegangan, namun konverter *buck* dioperasikan sebagai komponen pengatur arus panel surya dengan cara mengubah *duty cycle* dari pensaklaran mosfet.

2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

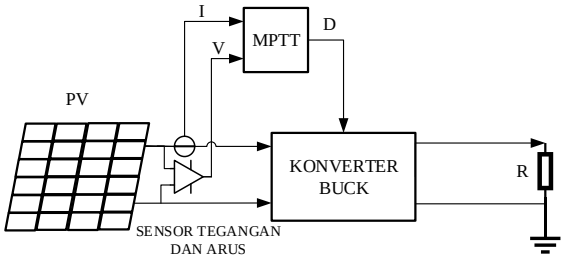
PV merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk menangkap energi matahari dan kemudian energi tersebut akan diubah menjadi energi listrik. Dalam aplikasi kovensional, PV memiliki kekurangan terutama pada efisiensi konversi energi surya yang dihasilkan masih rendah, maksimal 20% pada sel PV komersial [5]. Hal tersebut disebabkan karena perbedaan karakteristik antara panel surya dengan beban. Pada daerah yang terisolasi, sistem PV stand-alone mempunyai kelemahan diantaranya rugi baterai dan pada umumnya beroperasi tidak pada titik operasi yang efisien dan maksimum [6].

Pada kondisi beban dan kondisi atmosfer yang berbeda, daya output maksimum Panel Surya terjadi pada nilai arus dan tegangan yang berbeda-beda. Seperti ditunjukkan pada gambar 2.10. Nilai daya maksimum berada pada titik tegangan dan arus tertentu. Grafik karakteristik tersebut bergantung pada dua pengaruh eksternal yaitu suhu panel surya dan iradiansi matahari. Untuk mengkondisikan agar daya tetap berada pada titik tersebut maka digunakan sebuah metode yaitu dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). MPPT adalah suatu metode untuk melacak (*track*) titik kerja sebuah sumber energi agar menghasilkan daya maksimum [9]. Hasil dari nilai yang terlacak oleh MPPT akan digunakan untuk mengatur *duty cycle* dari konverter sehingga tegangan output dari panel akan terkondisi sesuai titik maksimum. Dengan kendali MPPT diha rapkan terjadi konversi energi maksimal pada berbagai kondisi beban dan kondisi atmosfer.



Gambar 2. 10 Maximum Power Point Pada Panel

Arsitektur dasar dari sistem MPPT pada panel surya terdiri dari Konverter DC-DC yang terletak diantara panel surya dan beban agar dapat mencapai pembebanan maksimal. Algoritma MPPT mengatur *duty cycle* Konverter DC-DC [10].



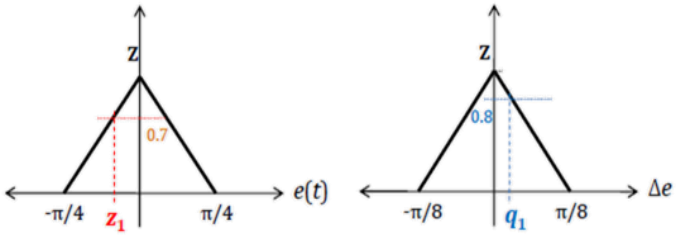
Gambar 2. 11 Arsitektur Sistem MPPT

Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya agar bekerja pada titik daya maksimumnya, sehingga daya yang mengalir ke beban adalah daya maksimal. Konverter DC-DC dalam sebuah sistem MPPT digunakan untuk menggeser tegangan ke titik maksimum dengan menggunakan pendekatan *intelligent control*, sehingga akan didapatkan sebuah daya operasi dari panel surya yang maksimum [9].

2.5 Kontrol Logika *Fuzzy*

Dari berbagai metode *Intelligent Control*, Logika *Fuzzy* merupakan metode yang banyak menarik perhatian sebagai kontrol motor, converter, dan lain lain. Hal ini dikarenakan Logika *Fuzzy* memiliki respon yang lebih baik dibandingkan kontrol konvensional lainnya. Dalam menghadapi cuaca yang berubah ubah secara tidak linier, logika *fuzzy* dapat mengambil keputusan dengan baik [8]. Logika *fuzzy* berbeda dengan logika biner, dikarenakan output bukan merupakan 0 atau 1 seperti biner, melainkan akumulasi keanggotaan variable input dalam *Membership Function* sehingga nilai output akan bergantung pada *rule* yang menghubungkan *input* serta pembobotan pada setiap *membership function*. *Membership function* dari logika *fuzzy* merupakan batas batas dimana nilai tersebut diklasifikasikan, suatu nilai bisa saja masuk kedalam dua atau lebih suatu klasifikasi seperti digambarkan pada gambar

2.12. Adanya perpotongana dari nilai tersebut akan berperngaruh terhadap nilai otput dari logika *fuzzy*.



Gambar 2. 12 Klasifikasi Fungsi Keanggotaan pada Fuzzy

Kontrol logika *fuzzy* terdiri dari tiga tahap, *fuzzifikasi*, *inferensi* dengan rule, dan *defuzzifikasi*. Pada proses fuzzifikasi input dapam bentuk *crisp* dikonversi menjadi variabel linguistik berdasarkan fungsi keanggotaan. Umumnya keanggotaan terdiri dari lima level yaitu NB(negative big), NS(negative small) Z(zero), PS (positive small), and PB(positive big). Setelah nilai *crisp* dari input sudah dikonversi menjadi variabel linguistik, fungsi keanggotaan dari output akan ditentukan berdasarkan rule yang berisi kombinasi antara input dan output. Rule didasarkan pada karakteristik dari sistem. Pada prose defuzzifikasi output yang berbentuk variabel linguistik dikonversi menjadi *crisp* kembali. Output *crisp* inilah yang akan digunakan untuk pensaklaran mosfet pada MPPT [11].

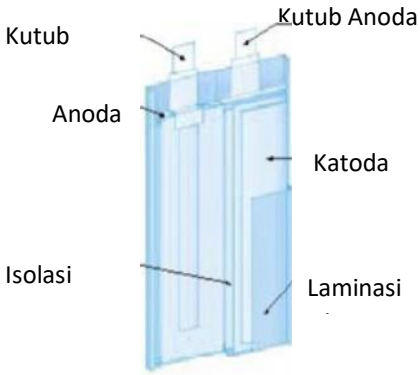
Jika dibandingkan dengan metode P&O, logika *fuzzy* memiliki waktu pendeteksian MPP yang lebih cepat, serta fluktuasi dari dayanya lebih kecil [12]. Cara kerja dari kotrol logika *fuzzy* adalah sensor akan mendeteksi arus dan tegangan yang masuk ke konverter, input dari sensor akan diolah menjadi daya dan arus. Variabel pertama adalah perubahan daya waktu, dengan variable kedua merupakan perubahan arus terhadap waktu. Kedua variable tersebut akan diolah oleh mikro controller dengan membandingkannya dengan *Membership Function* hasil dari pembandingan tersebut akan dikaitkan dengan rule yang mengatur output berupa *duty cycle*. Output ini akan dimasukkan ke *driver* Mosfet pada konverter sehingga d*uty cycle* dari converter bisa mengkondisikan daya. Dikarenakan output bergantung pada nilai variable 1 dan 2, maka

besarnya perubahan dengan menggunakan logika *fuzzy* lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode konvensional.

2.6 Baterai Lithium Polymer

Teknologi baterai saat ini berkembang sangat cepat untuk menghasilkan kekuatan energi lebih tinggi, rendah biaya, dan memiliki effisiensi tinggi untuk memenuhi kebutuhan beban [13]. Baterai jenis *lithium* memiliki daya tahan lebih baik dibandingkan dengan baterai jenis lain seperti *lead-acid* dan *nickel-metal hydride.* Baterai jenis *lithium* memiliki kemampuan *charging* yang cepat, memiliki umur lebih lama, dan rendahnya rata-rata *discharge* [14]. Semakin majunya teknologi baterai *lithium, lithium-polymer* memiliki kelebihan diberbagai aspek dibandingkan dengan baterai jenis *lithium-ion.* Jenis *polymer* merupakam baterai yang banyak digunakan di perangkat elektronik dan beberapa kendaraan listrik saat ini karena dengan jumlah energi yang sama dengan jenis *ion* mampu mengurangi jumlah kandungan elektrolit di setiap *cell*-nya, kekuatan elektrokimia lebih tinggi, dan efisiensi energi lebih tinggi.

Baterai *lithium-ion polymer* memiliki tegangan nominal 3.7 volt dan tegangan maksimum 4.2 volt untuk tiap selnya. Baterai *lithium-ion polymer* terusun atas *lithium cobalt dioxcide* sebagai katoda dan *high crystallized specialty carbon* sebagai anoda. Berikut ini susunan elektrokimia dari baterai *lithium-ion polymer* [15]:



Gambar 2. 13 Struktur Baterai Lithium-Ion Polymer [21]

Elektroda Positif :

$$LiCoO_2 \leftrightarrow Li(1\text{-}x) + CoO_2 + xLi + xLi + xe^- \quad (2.16)$$

Elektroda Negatif :

$$LiCoO_2 + Cn \leftrightarrow Li(1\text{-}x)CoO_2 + CnxLix \quad (2.17)$$

Hasil :

$$Cn + xLi + xLi + xe^- \leftrightarrow CnLix \quad (2.18)$$

Tabel 2. 1 Perbandingan Karakteristik Baterai Lithium-Ion Polymer [3]

Karakteristik	**Lead-acid**	**NiCd**	**NMH**	**Li-ion**	**Li-Po**
Kerapatan Energi(Wh/kg)	33-40	40-60	30-80	160	130-300
Kerapatan Daya(W/kg)	80-300	200-500	250-1000	1800	2800
Waktu *Charge*(jam)	8-16	1	2-4	2-3	2-3
Umur(bulan)	-	-	-	24-36	24-36
Life cycle	300	500	500-1000	1200	>1000
Teganngan Nominal(V)	2	1.2	1.2	3.6	3.7

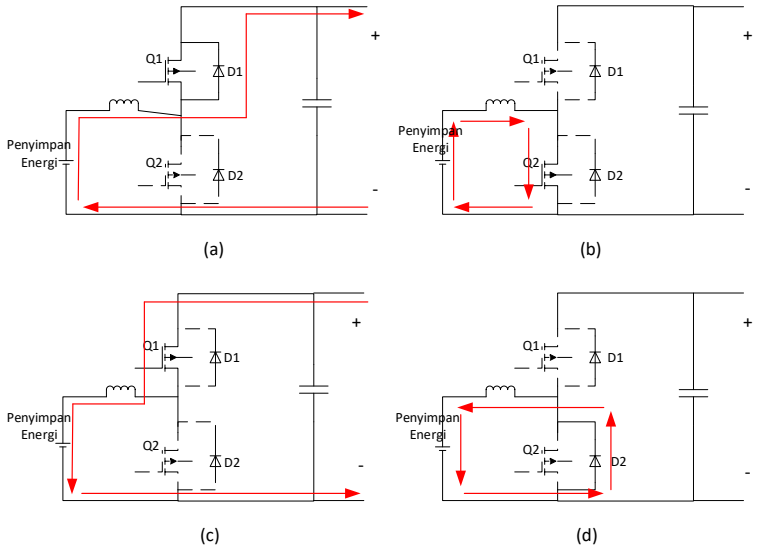
Setiap baterai memiliki karakteristiknya tergantung pada jenis aplikasinya. Dalam memenuhi kebutuhan teknologi yag semakin meningkat, jenis baterai *lithium-ion polymer* merupakan pilihan tepat dan sesuai diaplikasikan di kendaraan listik seperti pesawat tanpa awak.

2.7 Konverter Bidirectional

Dalam aplikasinya, sistem penyimpanan energi membutuhkan rangkaian yang mampu bekerja sebagai perantara untuk melakukan proses *charging* dan *discharging* untuk mencapai keseimbangan daya yang dibutuhkan. Konverter *bidirectional* merupakan rangkaian yang dapat dipilih sebagai perantara agar penyimpan energi mampu melakukan proses *charging* dan *discharging.*

Konverter *bidirectional* merupakan konverter yang mampu bekerja dua arah yang dapat menjaga tegangan DC *link* menjadi konstan,

melalui proses pengisian dan pengosongan penyimpan energi. Konverter ini mampu bertindak sebagai konverter *buck* saat penyimpan energi melakukan proses *charging* dan bertindak sebagai konverter *boost* saat melakukan proses *discharging*. Skema kinerja konverter ini dijelaskan dalam Gambar 2.14 [4].



Gambar 2. 14 Skema Kinerja Konverter Bidirectional

Berdasarkan gambar di atas, prinsip kerja rangkaian konverter *buck boost bidirectional* dibagi menjadi empat bagian, yakni :

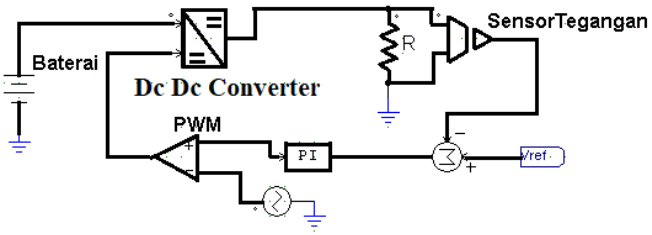
1) Bagian 1 (D1 on, Q1 off, D2 off, Q2 off) :
   Bagian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.8a. Dalam bagian ini konverter menunjukkan keadaan dimana koverter akan menyuplai daya ke DC link.
2) Bagian 2 (Q2 on, D1 off, Q1 off, D2 off) :
   Bagian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.8b. Dalam bagian ini konverter menunjukkan keadaan *boost* dan induktor akan mengalami proses *charging* sehingga arus induktor akan meningkat.

3) Bagian 3 (Q1 on, D1 off, D2 off, Q2 off) :
Bagian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.8c. Dalam bagian ini konverter menunjukkan keadaan *buck* dan daya dari DC link akan disuplai ke baterai.

4) Bagian 4 (D2 on, D1 off, Q1 off, Q2 off) :
Bagian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.8d. Dalam bagian ini konverter menunjukkan keadaan dimana arus induktor tidak dapat berubah langsung, sehingga akan dibuang melalui dioda 2 sehingga tegangan pada DC link akan turun dibandingkan tegangan baterai.

2.8 Analisis kondisi dinamis

Analisis kondisi dinamis merupakan analisis kondisi pada konverter saat tegangan masukan konverter memiliki nilai yang berubah-ubah. Hal tersebut akan berpengaruh pada keluaran dari konverter, oleh karena itu dibutuhkan kontrol tertutup agar menjaga tegangan secara konstan pada keluaran konverter ketika diberi sumber yang berubah-ubah.



Gambar 2. 15 Diagram Blok Sistem saat Kondisi Dinamis

Gambar 2.15 merupakan diagram blok sistem saat kondisi dinamis. Tegangan keluaran dari konverter akan fluktuatif bergantung pada *input* dari konverter itu sendiri. Tegangan keluaran konverter dapat dijaga konstan ketika tegangan masukan konverter berubah-ubah dengan cara mengatur besar *duty cycle* yang diberikan. Tujuan dari kontrol *duty cycle* yaitu mengatur tegangan keluaran secara konstan sesuai dengan tegangan yang diinginkan. Penentuan besar *duty cycle* diatur dengan pengaturan umpan balik pengendali *Proportional-Integral* (PI) yang dapat menghitung dan meminimalisir nilai selisih antara keluaran terhadap referensi yang diberikan pada sistem.

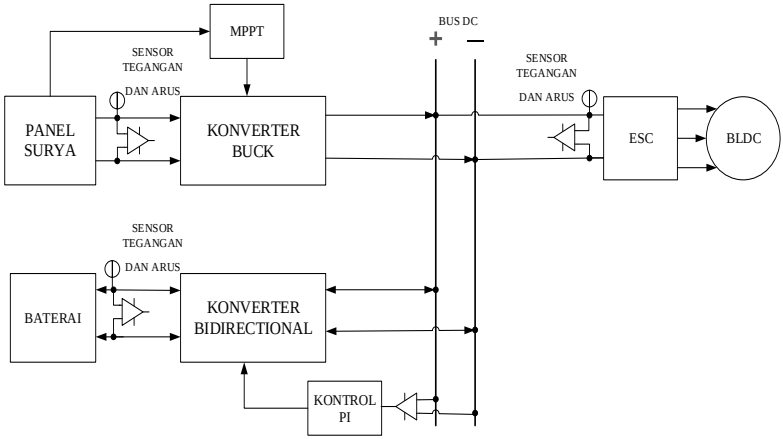
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3
DESAIN DAN PEMODELAN

Dalam bab ini, akan dibahas mengenai proses desain dan pemodelan sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya. Proses desain dilakukan dengan menghitung dan menentukan komponen-komponen yang akan digunakan untuk simulasi. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem aktif manajemen daya dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Hasil dari desain dan pemodelan ini kemudian digunakan sebagai dasar simulasi sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya.

3.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem menjelaskan mengenai sistem kerja aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya. Diagram blok ini terdiri dari sel surya, MPPT, manajemen baterai, dan beban DC seperti yag ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Aktif Manajemen Daya

Berdasarkan gambar 3.1, tegangan masukan dari konverter menggunakan sumber DC dari energi terbarukan, yaitu sel surya. Daya keluaran dari sel surya mengalami fluktuatif kareana perubahan intensitas cahaya matahari sehingga diperlukan MPPT untuk memaksimalkan keluaran daya. Selain

itu, menggunakan baterai *lithium-ion polymer* sebagai sumber *storage* dari sistem ketika daya yang dihasilkan sel surya tidak mampu memenuhi kebutuhan daya beban. Ketika baterai tersebut memiliki kapasitansi rendah maka sumber sel surya akan melakukan *charging* dengan memperhitungkan tegangan *cut off* dan SOC baterai. Setelah baterai sudah penuh maka sistem mematikan proses *charging* dan melakukan *discharging* ketika pemenuhan kebutuhan daya beban tidak terpenuhi dengan daya sel surya.

3.2 Parameter Sistem Aktif Manajemen Daya

Sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya dikondisikan dengan daya pada beban konstan sehingga desain dan simulasi ini digunakan beberapa alat untuk memodelkan sistem tersebut. Beberapa parameter yang digunakan adalah pesawat tanpa awak bertenaga surya, baterai, beban resistif dan motor BLDC.

3.2.1 Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya

Pesawat tanpa awak bertenaga surya merupakan pesawat tanpa awak dengan menggunakan sumber sel surya dengan susunan seri pada sayap pesawat dan baterai *lithium-ion polymer* yang didesain Tim Robot Terbang ITS ditunjukkan pada gambar 3.2.

Gambar 3. 2 Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya

3.2.2 Sel Surya (Photovoltaic Cell)

Sel surya ini merupakan sumber utama dari sistem pesawat tanpa awak bertenaga surya yang menggunakan 2 modul sel surya yang dipasang secara seri pada sayap kanan dan sayap kiri pesawat tanpa awak dengan spesifikasi modul sel surya tipe SunPower SPR-76RE-BLK-U pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Parameter Sel Surya

Parameter	Nilai
Daya per modul (Pmp)	75,9925 Wp
Tegangan per modul (Vmp)	13,45 V
Tegangan *open circuit* (Voc)	16,2 V
Arus per modul (Isc)	6.02 A
Jumlah sel	24
Daya total (Ppv)	150 W
Tegangan total (V)	26.9 V
Arus total (I)	6 A

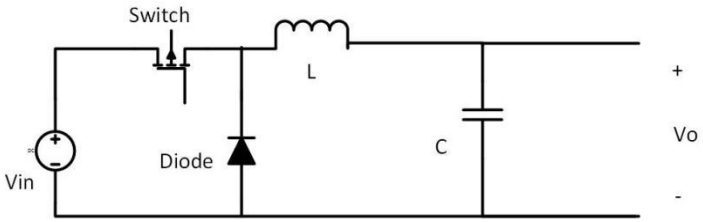
3.2.3 Baterai

Baterai yang digunakan pada sistem pesawat tanpa awak bertenaga surya menggunakan baterai jenis *lithium-ion polymer*. Baterai menjadi sumber *storage* pada pesawat tanpa awak bertenaga surya ketika daya sel surya tidak memenuhi kebutuhan daya beban maka baterai akan melakukan *discharging*. Sedangkan saat daya sel surya memiliki daya yang lebih dari daya yang dibutuhkan daya beban maka baterai membutuhkan *charging* saat kapasitas baterai kurang dari minimal SOC.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Baterai

Parameter Baterai Lithium Ion Polymer	
Merk Baterai	Gens Ace
Jumlah Sel	4
Tegangan Nominal	14.8 V
Tegangan Maksimal	16.8V
Initial SOC	90%
Kapasitas	6000 mAh
Discharge	40C

3.3 Desain Konverter *Buck*



Gambar 3. 3 Desain Konverter Buck

Desain konverter dimulai dengan penentuan range tegangan kerja dari sistem serta besarnya beban maksimal. parameter ini akan berpengaruh pada besarnya nilai induktor, kapasitor serta komponen lainnya. Desain juga berpatokan pada peralatan pendukung yang tersedia di laboratorium.

Tabel 3. 3 Parameter Rangkaian Konverter

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Tegangan Input maks	26,9	Volt
2.	Tegangan Output	24	Volt
3.	Daya output	150	Watt
4.	Frekuensi Switching	40k	Hz
5.	Ripple Arus	30	%
6.	Ripple Tegangan	5	%

3.2.1 Penentuan Nilai Beban

Penentuan beban konverter mempertimbangkan keadaan ketika konverter terbebani secara maksimum, yaitu sebesar 110 Watt pada tegangan 24 volt. Berdasarkan persamaan (2.28) maka dapat ditentukan nilai resistor sebesar :

$$R_{out} = \frac{V^2}{P} = \frac{(24)^2}{110} = 5{,}24 \text{ Ohm} \qquad (3.1)$$

3.2.2 Penentuan Nilai Induktor L1

Tegangan input maksimal dipilih 26.9 Volt mengacu pada *open circuit voltage* dari panel surya. Sedangkan tegangan output direncanakan 24 volt menyesuaikan dengan tegangan beban(BLDC). Dengan tegangan output 24 V dan daya rating 150 W, maka akan didapatkan nilai arus yang mengalir pada sisi output adalah

$$P = V.\ I \tag{3.1}$$

$$I = \frac{P}{V} \tag{3.2}$$

$$I = \frac{150W}{24V} \tag{3.3}$$

$$I = 6{,}25\ A \tag{3.4}$$

Nilai arus ini akan berpengaruh pada pemilihan belitan pada induktor. Frekuensi switching dari mosfet dipilih 40kHz dikarenakan diharapkan induktor memiliki dimensi sekecil mungkin sehingga diperlukan induktor dengan nilai induktansi rendah namun dapat melakukan charge dan discharge dengan cepat. Ripple arus dipilih 40% agar sistem bisa bekerja secara CCM pada saa dibebani rating maupun pada saat beban kurang dari rating.

Dengan parameter tersebut maka didapatkan nilai induktor dapat diturunkan melalui persamaan

$$\frac{L\Delta I}{Ton} = Vin - Vout \tag{3.5}$$

$$L\Delta I = D \times T(Vin - Vout) \tag{3.6}$$

$$L\Delta I = \frac{Vout \times (Vin - Vout)}{f_s \times Vin} \tag{3.7}$$

$$L = \frac{Vout \times (Vin - Vout)}{f_s \times Vin \times \Delta I} \tag{3.8}$$

Dengan memasukkan parameter kedalam persamaan, maka didapat nilai induktansi

$$L = \frac{24 \times (26{,}9 - 24)}{40000 \times 26{,}9 \times 0{,}2 \times 6.{,}25} \tag{3.9}$$

$$L = 51{,}74\ uH \tag{3.10}$$

3.2.3 Penentuan Nilai Kapasitor

Nilai ripple tegangan dipilih sebesar 5% sehingga dengan tegangan output sebesar 24V akan memiliki nilai ripple tegangan sebesar 1 V

$$V_r = \frac{1}{C}\int_0^{ton} i(t)dt \tag{3.11}$$

$$C_{min} = \frac{D.T.I}{Vr} \tag{3.12}$$

$$C_{min} = \frac{D.I}{fs.Vr} \tag{3.13}$$

Pada sistem MPPT nilai *duty cycle* akan terus berubah, sehingga dalam penentuan kapasitor minimal diambil nilai duty cycle terbesar. Dengan memasukkan semua parameter kedalam persamaan akan didapatkan,

$$C_{min} = \frac{1\times 6{,}25}{40000\times 1} \tag{3.14}$$

$$C_{min} = 156{,}25 \text{ uF} \tag{3.15}$$

Nilai tersebut merupakan nilai minimum untuk menjaga agar ripple tegangan tidak melebihi 5%, pada implementasi nilai kapasitor menyesuaikan dengan pasar. Berdasarkan perhitungan, nilai kapasitor yang didesain adalah sebesar 156,25 μF.

3.2.4 Penentuan Dioda

Konverter *buck* bekerja pada frekuensi 40 kHz dan memiliki satu buah dioda pada sisi input. Pemilihan dioda harus memiliki spesifikasi yang baik dari segi arus, tegangan, dan *reverse recovery time* yang cepat. Penentuan tegangan dan arus pada dioda dapat diperoleh berdasarkan rumus:

$$I_d = I_{in} = \frac{P}{V_{in}} = \frac{150}{26.9} = 5{,}58 \text{ A} \tag{3.17}$$

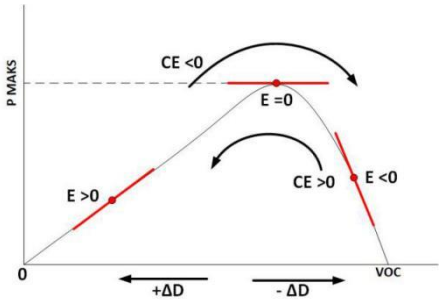
3.4 Desain Kontrol Logika *Fuzzy*

Sistem MPPT *Fuzzy* panel surya terdiri dari dua input dan satu output. Dimana input tersebut merupakan besarnya error dan perubahan error. Error merupakan perubahan daya dibandingkan dengan perubahan tegangan setiap waktu, sedangkan perubahan error adalah perubahan error tiap waktu.

$$E = \frac{P(t) - P(t-1)}{V(t) - V(t-1)} \tag{3.20}$$

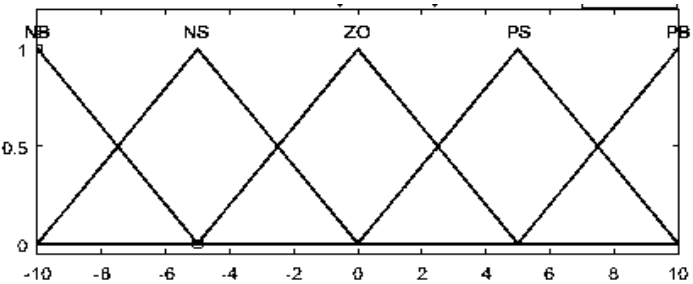
$$CE = E(t) - E(t-1) \tag{3.21}$$

Nilai error besar pada saat titik operasi berada jauh dari daya maksimum dan nilainya akan mengecil seiring dengan mendekatnya titik operasi dengan daya maksimal. perubahan error menggambarkan arah tracking daya, nilai perubahan errror negatif berarti tracking daya mengarah ke kanan, sedangkan saat peruabahan error positif maka tracking daya akan ke arah kiri, hal tersebut dikarenakan pada sisi kiri dari titik maksimum nilai error positif, sedangkan di sisi kanan negatif. Saat titik operasi berada jauh dari titik maksimum maka *duty cycle* dari converter harus diubah dengan nilai yang cukup besar, berbeda dengan pada saat titik operasi sudah berada di titik maksimum *duty cycle* tidak perlu berubah. Nilai error dan perubahan error ini akan difuzzifikasi dengan fungsi keanggotaan *fuzzy* dan hasil terssebut akan dikaitkan dengan rule yang menghasilkan output berupa perubahan *duty cycle* dan arah perubahan *duty cycle* tersebut. Ilustrasi dari prinsip tracking daya dengan *fuzzy logic* digambarkan pada gambar 3.4

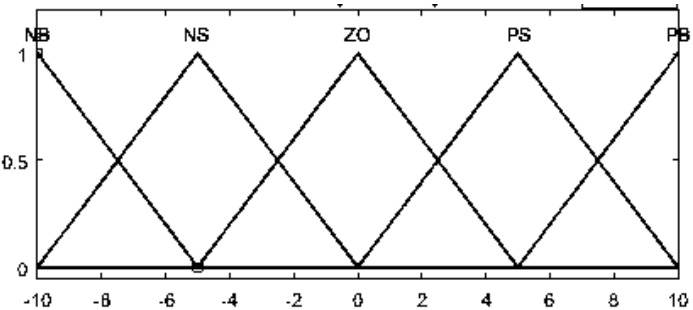


Gambar 3. 4 Prinsip Kerja Kontrol Logika Fuzzy

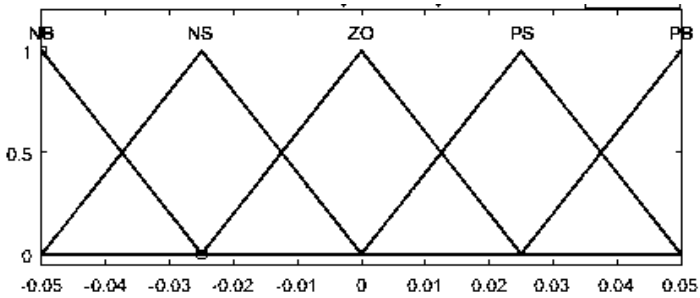
Dalam desain kontrol logika *fuzzy* angkauan dari fungsi keanggotaan input dan output didasarkan pada karaktersitik perubahan *duty cycle* terhadap perubahan daya yang didapat dari percobaan dengan menggunakan metode Hill Climbing konvensional. Dari metode ini didapatkan error rata rata adalah sebesar 10 dan nilai error maksimal sebesar 60, dengan pertimbangan kestabilan nilai maksimum dari fungsi keanggotaan diambil 10, nilai perubahan error maksimum diambil dari besarnya error yaitu sebesar 10 . *Duty cycle* di set maksimal 0,05 agar sistem tidak memiliki nilai osilasi yang terlalu besar namun tetap dapat tracking dengan kecepatan yang sesuai. Fungsi keanggotaan dari input dan output *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3.5, 3.6 dan 3.7



Gambar 3. 5 Fungsi Keanggotaan Error



Gambar 3. 6 Fungsi Keanggotaan Perubahan Error



Gambar 3. 7 Fungsi Keanggotaan Perubahan Duty Cycle

Untuk menentukan hubungan antara kedua input dan output dari MPPT maka digunakan rule untuk mengaitkan kedua input tersebut. Rule sendiri merupakan beberapa set peraturan yang menjelaskan berbagai kondisi input. Pada sistem MPPT ini akan digunakan rule untuk memperkecil nilai error. Rule dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3. 4 Rule Kontrol Logika Fuzzy

E/CE	**NB**	**NS**	**Z**	**PS**	**PB**
NB	Z	PB	PB	PS	PS
NS	PS	PS	PS	Z	Z
Z	PS	Z	Z	Z	NS
PS	Z	Z	NS	NS	NS
PB	NB	NB	NB	NB	Z

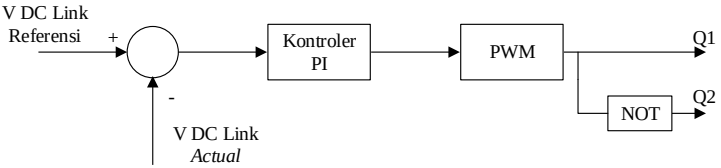
Rule diatas akan mengkondisikan sistem agar selalu berada pada titik maksimal, semakin besar error maka perubahan *duty cycle* juga akan semakin besar. Rule diatas juga mempertimbangkan pengaruh perubahan iradians, pada perubahan iradians yang terlalu cepat maka akan didapat nilai error yang sangat besar, sedangkan perubahan *duty cycl*e pada kondisi tersebut seharusnya kecil dikarenakan pergeseran tegangan maksimum tidak terlalu besar, sehingga pada rule diatur agar pada *error* yang terlalu besar nilai perubahan *duty cycle* kecil. Namun pada besar error yang masih dibawah batas perubahan *duty cyle* diatur besarnya agar tracking bisa dilakukan secepat mungkin.

3.5 Konverter *Bidirectional*

Seperti apa yang telah dijelaskan pada bab 2, konverter *bidirectional* bekerja dengan cara mengatur *switch* untuk mengatur aliran daya dua arah ke penyimpan energi. Kinerja ini bertujuan untuk menjaga tegangan DC link konstan, melalui proses pengisian dan pengosongan penyimpan energi. Pada Tugas Akhir ini, kontroler *bidirectional* bekerja dengan menggunakan referensi tegangan DC Link seperti yang terdapat pada Gambar 3.8

Dalam kinerjanya, konverter *bidirectional* membutuhkan sebuah kontroler yang dapat mengatur proses *switching* transistor agar proses *charging* dan *discharging* penyimpan energi dapat dilakukan untuk menjaga keseimbangan daya. Kontroler *Proportional Integrator* (PI) dapat dipilih untuk mengatur proses tersebut berdasarkan perubahan arus yang dirasakan kontroller ini. Induktor dalam konverter *bidirectional* ditentukan sebesar 200 μH. Berdasarkan metode *trial and error*, Nilai parameter kontroler PI yang digunakan adalah Kp = 300 dan Ki = 10.

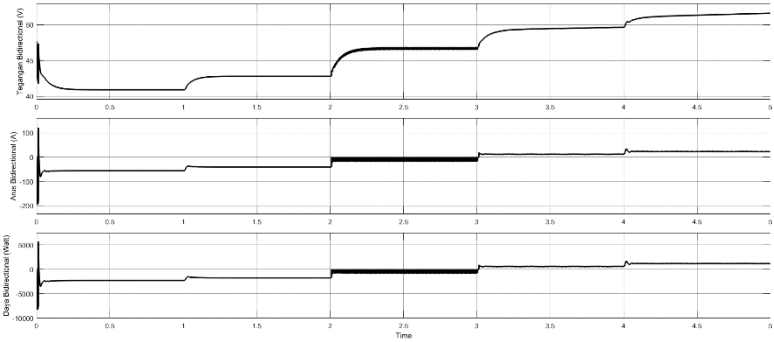
Kontroler PID bekerja menggunakan tegangan DC *link*, tegangan DC *link* referensi dan *error*. *Error* merupakan selisih antara tegangan DC *link* referensi dan hasil pengukuran tegangan DC *link*. Jika tegangan DC *link* lebih besar dari tegangan DC *link* referensi maka penyimpan energi akan melakukan proses *charging*, dan jika tegangan DC *link* lebih kecil dari tegangan DC *link* referensi maka penyimpan energi akan menyuplai daya ke DC *link* untuk mempertahankan tegangan DC *link* sesuai dengan referensi yang digunakan. Kontroler PI digambarkan dalam Gambar 3.8, dengan keluaran kontroler untuk mengontrol *switch* Q1 dan Q2 yang terdapat pada Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Kontroler PI untuk Konverter Bidirectional

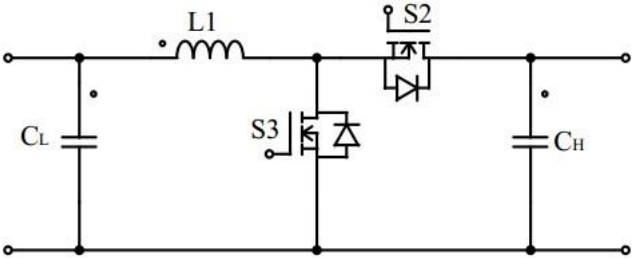
Konverter *bidirectional* melakukan proses *discharging* pada saat nilai dayanya menunjukkan nilai negatif dan akan melakukan proses *charging* pada saat nilai dayanya menunjukkan nilai positif. Hasil

simulasi tegangan, arus, dan daya konverter *bidirectional* ditunjukan dalam Gambar 3.9

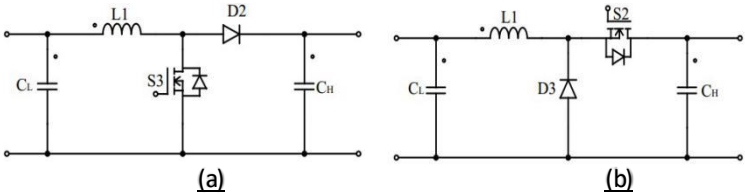


Gambar 3. 9 Hasil Simulasi Tegangan, Arus, dan Daya Konverter Bidirectional

Rangkaian konverter *bidirectional* ditunjukkan pada gambar 3.10. Perancangan konverter *bidirectional* dilakukan pada 2 mode yaitu mode operasi *boost* dan mode operasi *buck*. Rangkaian pengganti saat mode *boost* ditunjukkan pada gambar 3.11a dan mode *buck* ditunjukkan pada gambar 3.11b.



Gambar 3. 10 Topologi Rangkaian Konverter Bidirectional



Gambar 3. 11 Rangkaian Konverter Bidirectional, a) Mode Boost; b) Mode Buck

Tabel 3. 5 Spesifikasi Konverter Bidirectional saat Mode Boost

Mode	**Nilai**
P_{rated}	110 W
V_{in}	15 V
V_{out}	24 V
f_{sw}	40 kHz
t_{fall}	29ns
$\frac{\Delta I_{L\text{-}pp}}{I_{L\text{-}avg}}$	10 %
$\frac{\Delta V_{o\text{-}pp}}{V_{o\text{-}avg}}$	1 %

- Duty Cycle

  $D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} = 1 - \frac{15}{24} = 0{,}375$

- Nilai Resistor

  $R = \frac{Vo^2}{P_{out}} = \frac{24^2}{110} = 5{,}24\ \Omega$

- Nilai Induktor
  - Mencari nilai $I_L(avg)$

    $I_L(avg) = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 R} = \frac{15}{(1-0{,}375)^2 .5{,}24} = 7{,}33$ A
  - Mencari nilai ΔI_L

    $\Delta I_L = 10\% x 7{,}33 = 0{,}733$ A

$$L = \frac{V_{in}.D}{\Delta I_L.\ f_s} = \frac{15\ .\ \ 0{,}375}{0{,}733\ .40000} = 192\ \mu H$$

- Nilai Kapasitor

  ΔV_o=1%x24=0,24 V

$$C = \frac{D}{R(\frac{\Delta V_o}{V_o}).f_s} = \frac{0{,}375}{5{,}24(\frac{0{,}24}{24})\ .40000} = 178\ \mu F$$

- Resistor dan Kapasitor Snubber

  $V_{off} = V_o = 24$ V

$$I_{on} = I_o \frac{V_o}{Vin} = 4{,}58 \frac{24}{15} = 7{,}33\ A$$

$$C_{snubber} \approx \frac{I_{on} x t_{fall}}{2xV_{off}} \approx \frac{7{,}33x29x10^{-9}}{2x24} \approx 4{,}43\ nF$$

$$R_{snubber} < \frac{DT}{2xC_{snubber}}$$

$$R_{snubber} < \frac{0{,}375x\frac{1}{40000}}{2x4{,}43x10^{-9}}$$

$$R_{snubber} < 1{,}058\ K\Omega$$

Tabel 3. 6 Spesifikasi Konverter Bidirectional Mode Buck

Mode	**Nilai**
P_{rated}	110 W
V_{in}	24 V
V_{out}	15 V
f_{sw}	40 kHz
$\frac{\Delta I_{L\text{-}pp}}{I_{L\text{-}avg}}$	10 %
$\frac{\Delta V_{o\text{-}pp}}{V_{o\text{-}avg}}$	1 %

- Duty Cycle

  $D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{15}{24} = 0{,}625$

- Nilai Resistor

  $R = \frac{Vo^2}{P_{out}} = \frac{15^2}{110} = 2{,}05\ \Omega$

- Nilai Induktor
  - Mencari nilai I_L(avg)

    $I_L(avg) = \frac{V_{out}}{R} = I_o = \frac{15}{2{,}05} = 7{,}32$ A
  - Mencari nilai ΔI_L

    $\Delta I_L = 10\% x 7{,}32 = 0{,}732$ A

    $L = \frac{V_{out}.(1-D)}{\Delta I_L.\ f_s} = \frac{15\ .\ (1-0{,}625)}{0{,}732\ .40000} = 192\ \mu H$

- Nilai Kapasitor

  $\Delta V_o = 1\% x 15 = 0{,}15$ V

  $C = \frac{(1-D)}{8L(\frac{\Delta V_o}{V_o}).\ f_s^2} = \frac{(1-0{,}625)}{8x320x10^{-6}(\frac{0{,}15}{15})\ .40000^2} = 15.26\ \mu F$

- Resistor dan Kapasitor Snubber

  $V_{off} = V_{in} = 24$ V

  $I_{on} = I_o = 7,32$ A

  $C_{snubber} \approx \frac{I_{on} x t_{fall}}{2xV_{off}} \approx \frac{7{,}32x29x10^{-9}}{2x24} \approx 4{,}42$ nF

  $R_{snubber} < \frac{DT}{2xC_{snubber}}$

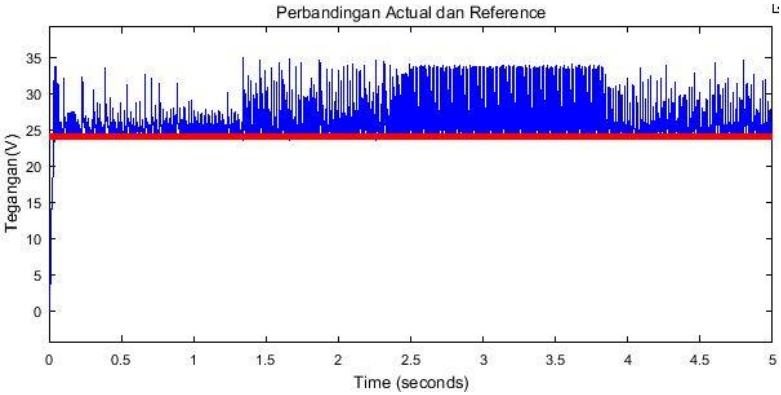
  $R_{snubber} < \frac{0{,}625x\frac{1}{40000}}{2x4{,}42x10^{-9}}$

  $R_{snubber} < 1{,}768\ K\Omega$

3.6 Konverter pada Kondisi Dinamis (*close loop*)

Simulasi kondisi dinamis bertujuan untuk mengetahui respon kontrol dari *duty cycle* ketika tegangan input berubah. Sistem kerja dari kontroler ini yaitu dengan melakukan *sensing* pada tegangan keluaran konverter untuk dibandingkan dengan tegangan referensi atau *set point* yang bernilai 12 volt. Selisih antara tegangan referensi dan hasil sensing

tegangan keluaran akan dianggap sebagai *error* yang kemudian akan diolah oleh IC At mega 328p untuk mengatur lebar *duty cycle* sehingga tegangan keluaran akan mendekati tegangan referensi. gambar 3.12 dibawah ini menunjukkan simulasi dari konverter dalam kodisi dinamis saat konverter tersebut berada pada kondisi *close loop* (dengan menggunakan kontroller).



Gambar 3. 12 Simulasi Kondisi Dinamis saat Konverter Beroperasi secara Close Loop

Gambar 3.12 merupakan simulasi kondisi dinamis ketika konverter beroperasi secara *close loop* (menggunakan kontroller). Pada simulasi ini kami memberikan variasi sumber tegangan input dengan rentang 15 – 27 volt. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konverter mampu mempertahankan tegangan keluarannya konstan 24 volt pada *range* 24 - 26 volt ketika konverter diberi sumber tegangan dengan *range* 15 – 27 volt.

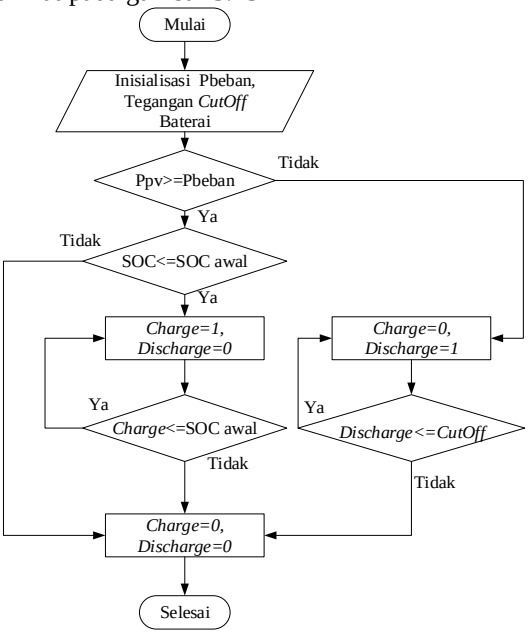
3.7 Pemodelan Sistem Aktif Manajemen Daya

Sistem ini didesain dan disimulasikan dengan software MATLAB dengan parameter komponen dalam keadaan ideal.

3.7.1 Desain Kontrol

Algoritma yang digunakan dalam sistem aktif manajemen daya pada pesawat ini diprogram dengan menggunakan MATLAB dan untuk

implementasinya menggunakan mikrokontroller Arduino. Algoritma tersebut dapat dilihat pada gambar 3.13



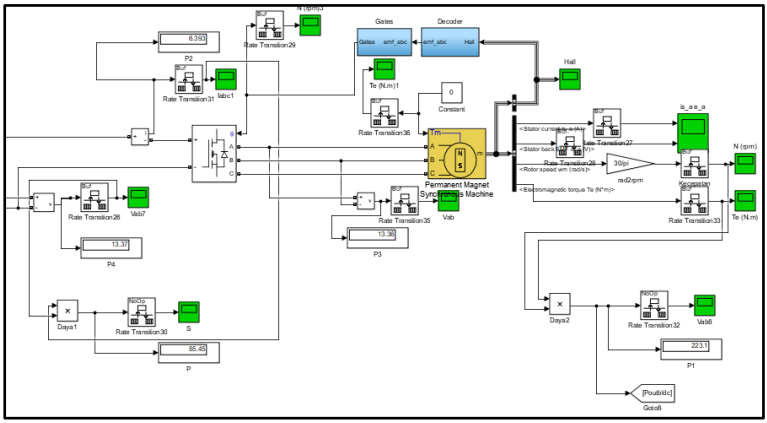
Gambar 3. 13 Algoritma Sistem Aktif Manajemen Daya

Sedangkan desain beban untuk motor BLDC menggunakan parameter-parameter dengan spesifikasi pada tabel 3.7

Tabel 3. 7 Parameter BLDC

Merk BLDC Moog-BS12	
KV (V/Krpm)	1.05
Daya Maksimal (W)	110
Tegangan Nominal (V)	24
Jumlah pole	6
Arus Rata-Rata (A)	8
Torsi Konstan (Nm/A)	0.01
Resistansi Terminal (Ohm)	0.22
Induktansi Terminal (mH)	0.11
Inersia Rotor (g.cm^2)	3.4
Kecepatan Rata-Rata (rpm)	15000

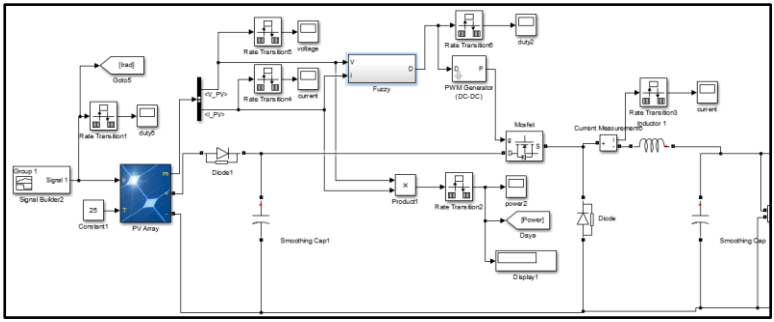
Sehingga didapatkan desain pada simulasi pada gambar 3.14



Gambar 3. 14 Desain Motor DC *Brushless*

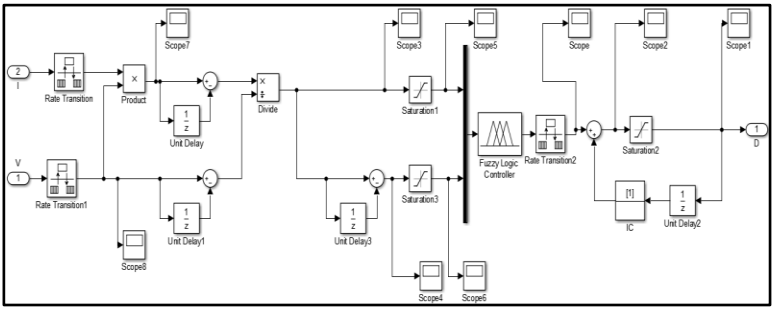
3.7.2 Desain MPPT dengan Logika *Fuzzy*

Sistem aktif manajemen daya ini menggunakan sistem pendukung dengan MPPT untuk memaksimalkan keluaran daya pada sel surya pesawat tanpa awak. Metode algoritma MPPT yang digunakan dengan logika *fuzzy* yang desainnya ditunjukkan pada gambar 3.15 dan gambar 3.16



Gambar 3. 15 Desain MPPT dengan Konverter *Buck*

Konverter yang digunakan dalam sistem aktif manajemen daya ini dengan jenis konverter *buck* karena disesuakan dan tegangan beban dan beterai pada pesawat tanpa awak bertenaga surya ini.



Gambar 3. 16 Pemodelan Algoritma Logika *Fuzzy*

3.8 Skenario Kondisi Sistem Aktif Manajemen Daya

Sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya ini disimulasikan dengan menggunakan software MATLAB 2016a dalam waktu 5 detik dengan memiliki beberapa skenario kondisi daya pada *Photovoltaic array*, Baterai dan Beban. Dipilih batas SOC baterai adalah 20%, yang artinya baterai dapat dikosongkan hingga kapasitasnya mencapai 20% dari kapasitas rating.

Pada simulasi sistem aktif manajemen daya pada software MATLAB menggunakan beban resistif dan BLDC. Desain beban resistif yang dibuat dengan kapasitas dari sistem pada tabel 3.8

Tabel 3. 8 Parameter Penentuan Nilai Resistif Pada Beban

Daya Sistem(W)	110
Tegangan Output(V)	24

Jadi didapatkan resistif $R = \frac{V^2}{P} = \frac{576}{110} = 5{,}24$ Ohm

Desain beban motor BLDC menggunakan parameter-parameter dengan spesifikasi pada tabel 3.9

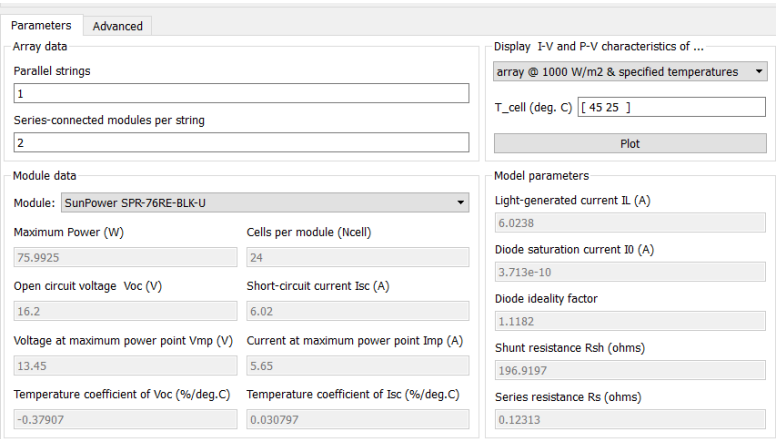
Tabel 3. 9 Parameter BLDC

Merk BLDC	Moog-BS12
KV (V/Krpm)	1.05
Daya Maksimal (W)	110
Tegangan Nominal (V)	24
Jumlah pole	6
Arus Rata-Rata (A)	8
Torsi Konstan (Nm/A)	0.01
Resistansi Terminal (Ohm)	0.22
Induktansi Terminal (mH)	0.11
Inersia Rotor (g.cm^2)	3.4
Kecepatan Rata-Rata (rpm)	15000

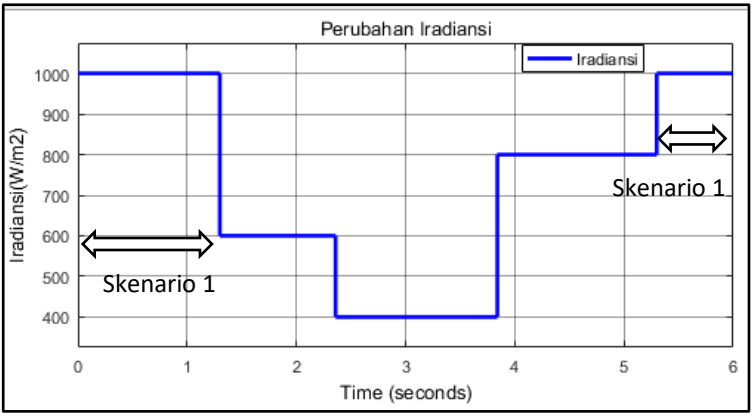
3.8.1 Skenario Pertama

Daya PV > Daya Beban Tetapi Daya Baterai Kosong

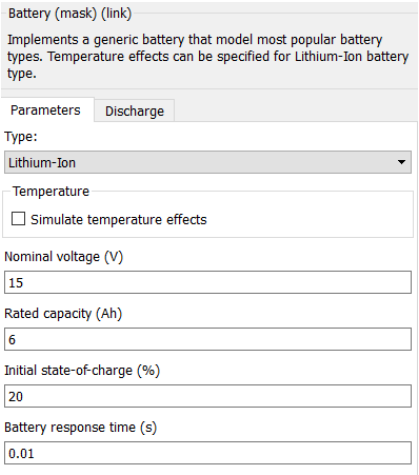
Pada skenario pertama ini ada dua keadaan,yaitu keadaan pertama *Photovoltaic array* mendapatkan intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2. Keadaan ini terjadi pada waktu 0 – 1.2 detik dan 5.3 – 6 detik. Sedangkan keadaan kedua baterai dalam keadaan kosong dengan ketentuan memiliki *initial SOC* sebesar 20% , kapasitas baterai 6000 mAh, dan tegangan nominal baterai 15 V yang ditunjukkan pada gambar 3.17



Gambar 3. 17 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB



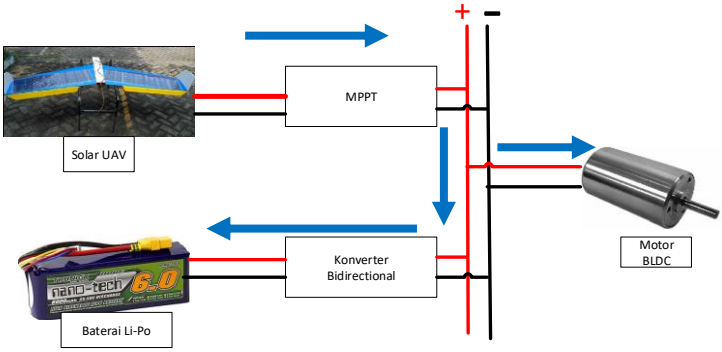
Gambar 3. 18 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array



Gambar 3. 19 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB

Berdasarkan skenario pertama ini, aliran daya PV menyuplai daya yang beban dan sisanya digunakan untuk mengisi baterai, dikarenakan SOC baterai yang masih dibawah 90% atau dapat dikatakan baterai belum siap untuk menyuplai beban. Saat skenario pertama ini berlangsung, konverter *bidirectional* melakukan mode *buck* untuk

melakukan pengisian baterai. Aliran daya pada skenario pertama tersebut dapat ditunjukan pada gambar 3.20 berikut :

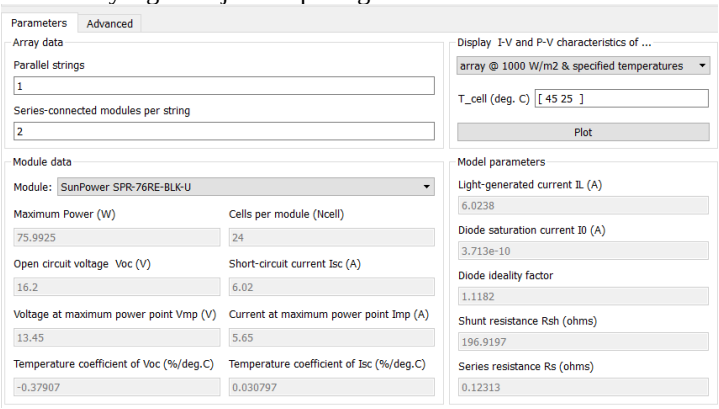


Gambar 3. 20 Aliran daya skenario pertama

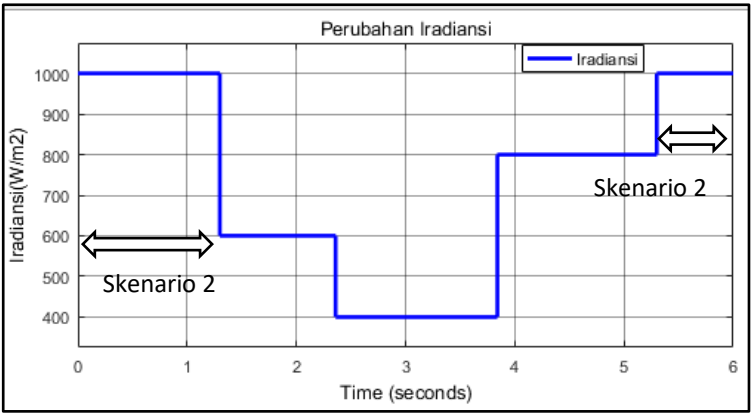
3.8.2 Skenario Kedua

Daya PV > Daya Beban Tetapi Daya Baterai Penuh

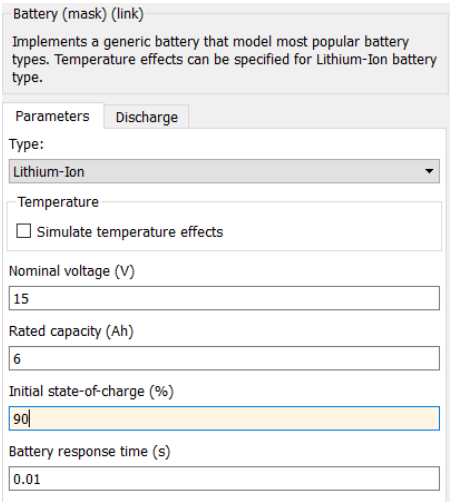
Pada skenario kedua ini ada dua keadaan, yaitu keadaan pertama, *Photovoltaic array* mendapatkan intensitas cahaya sebesar 1000 W/m^2. Keadaan ini terjadi pada waktu 0 – 1.2 detik dan 5.3 – 6 detik. Sedangkan keadaan kedua, baterai dalam keadaan penuh dengan ketentuan memiliki *SOC* sebesar 90% , kapasitas baterai 6000 mAh, dan tegangan nominal baterai 15 V yang ditunjukkan pada gambar 3.21



Gambar 3. 21 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB



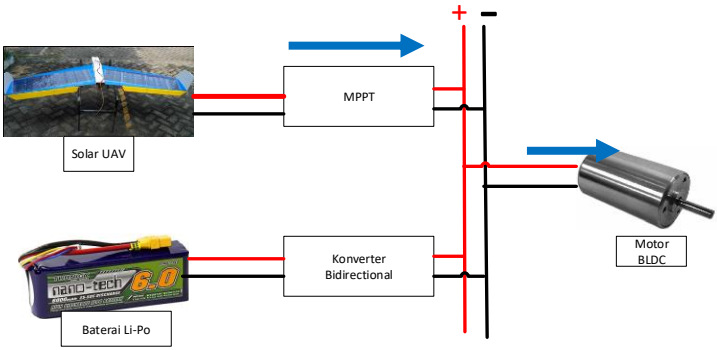
Gambar 3. 22 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array



Gambar 3. 23 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB

Berdasarkan skenario kedua ini, aliran daya PV menyuplai mengikuti daya yang dibutuhkan daya beban dan baterai tidak mengalami *charging* ataupun *discharging* karena daya PV mampu menyuplai. Itu disebabkan SOC baterai yang sudah penuh 90% atau dapat dikatakan baterai tidak overcharging saat daya PV lebih dari kebutuhan daya beban.

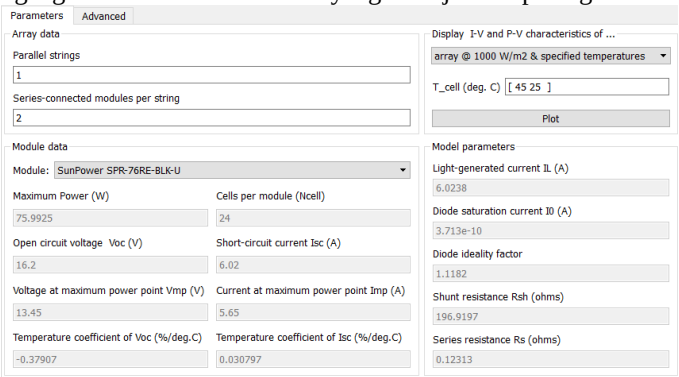
Saat skenario kedua ini berlangsung, diharuskan ada dummy load pada simulasi untuk mengoptimalkan kerja MPPT. Aliran daya pada skenario kedua tersebut dapat ditunjukan pada gambar 3.24 berikut :



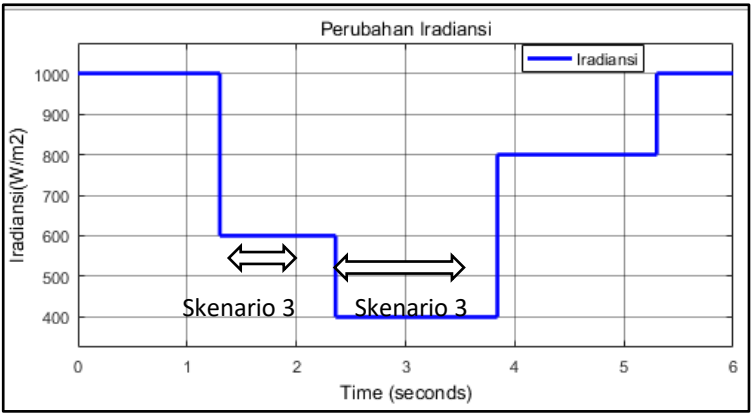
Gambar 3. 24 Aliran daya skenario kedua

3.8.3 Skenario Ketiga
Daya PV < Daya Beban Tetapi Daya Baterai Kosong

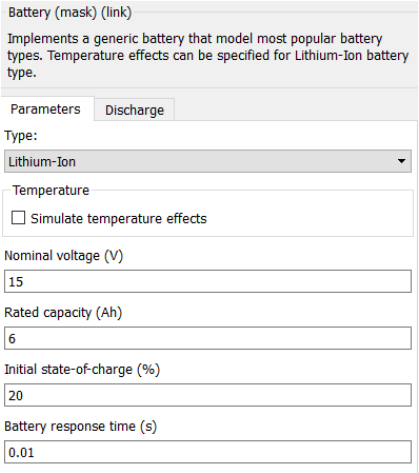
Pada skenario ketiga ini ada dua keadaan,yaitu keadaan pertama *Photovoltaic array* mendapatkan intensitas cahaya sebesar 600 W/m^2 dan 400 W/m^2. Keadaan ini terjadi pada waktu 1.3 – 2.2 detik dan 2.3 – 3.9 detik. Sedangkan keadaan kedua baterai dalam keadaan kosong dengan ketentuan memiliki *initial SOC* sebesar 20%, kapasitas baterai 6000 mAh, dan tegangan nominal baterai 15 V yang ditunjukkan pada gambar 3.25



Gambar 3. 25 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB



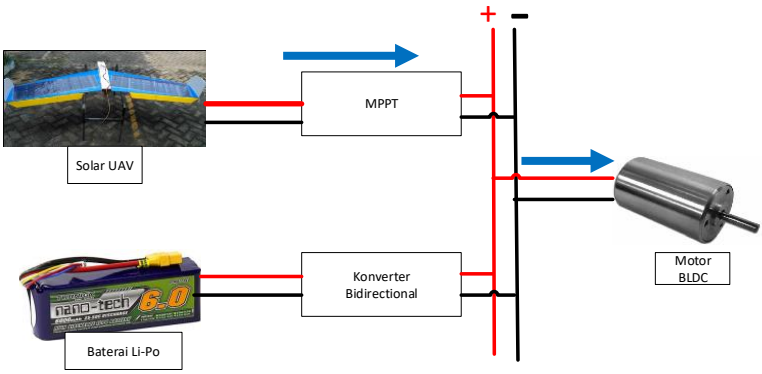
Gambar 3. 26 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array



Gambar 3. 27 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB

Berdasarkan skenario ketiga ini, aliran daya PV menyuplai daya yang beban dengan terbatas pada daya yang dapat dihasilkan dari daya PV karena kurangnya daya PV menyuplai daya beban dan keadaan baterai kosong, dikarenakan SOC baterai yang masih dibawah 90% atau dapat dikatakan baterai belum siap untuk menyuplai beban. Saat skenario ketiga ini berlangsung, mengakibatkan kecepatan dan daya pada motor BLDC

kurang dari rating. Aliran daya pada skenario ketiga tersebut dapat ditunjukan pada gambar 3.28 berikut :

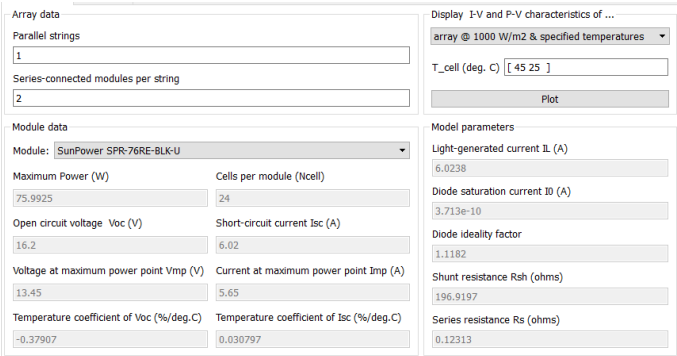


Gambar 3. 28 Aliran daya skenario ketiga

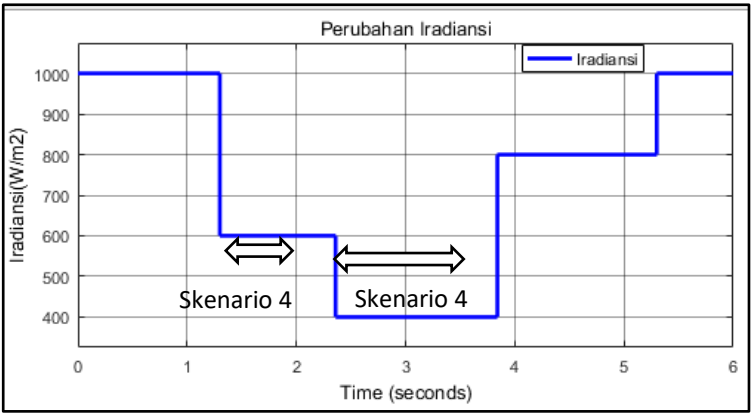
3.8.4 Skenario Keempat

Daya PV < Daya Beban Tetapi Daya Baterai Penuh

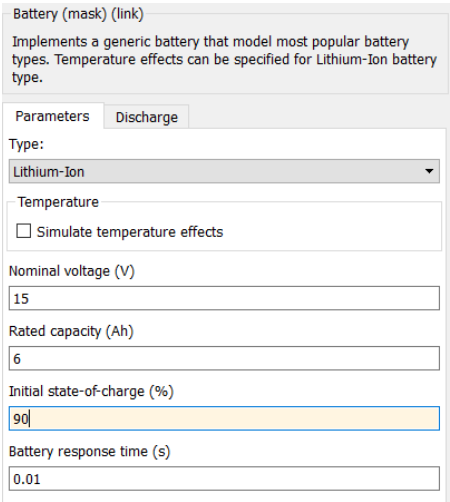
Pada skenario keempat ini ada dua keadaan,yaitu keadaan pertama *Photovoltaic array* mendapatkan intensitas cahaya sebesar 600 W/m^2 dan 400 W/m^2. Keadaan ini terjadi pada waktu 1.3 – 2.2 detik dan 2.3 – 3.9 detik. Sedangkan keadaan kedua baterai dalam keadaan penuh dengan ketentuan memiliki *initial SOC* sebesar 90%, kapasitas baterai 6000 mAh, dan tegangan nominal baterai 15 V yang ditunjukkan pada gambar 3.29



Gambar 3. 29 Parameter Photovoltaic array pada Blok Simulink MATLAB



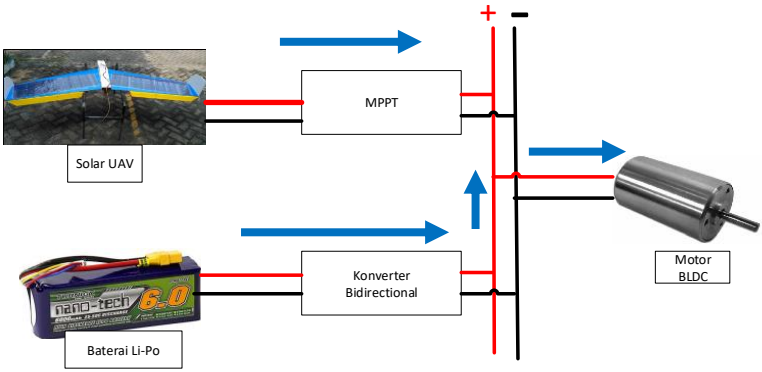
Gambar 3. 30 Perubahan Iradiansi pada Photovoltaic array



Gambar 3. 31 Kondisi baterai lithium-ion polymer pada Blok Simulink MATLAB

Berdasarkan skenario keempat ini, aliran daya PV menyuplai daya yang beban secara minimum ,dikarenakan iradiansi matahari berkurang maka daya PV kurang dari daya beban sehingga daya baterai akan membantu menyuplai daya beban karena SOC sudah penuh 90% atau dapat dikatakan baterai sudah siap untuk menyuplai beban. Saat

skenario pertama ini berlangsung, konverter *bidirectional* melakukan mode *boost* untuk membantu menyuplai daya beban. Aliran daya pada skenario pertama tersebut dapat ditunjukan pada gambar 3.32 berikut :



Gambar 3. 32 Aliran daya skenario keempat

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4
HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dan analisis dari sistem aktif manajeman daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya. Pembahasan ini mengenai sistem aktif manajemen daya pesawat tanpa awak bertenaga surya yang dilakukan dengan beberapa skenario kondisi.

4.1 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Pertama

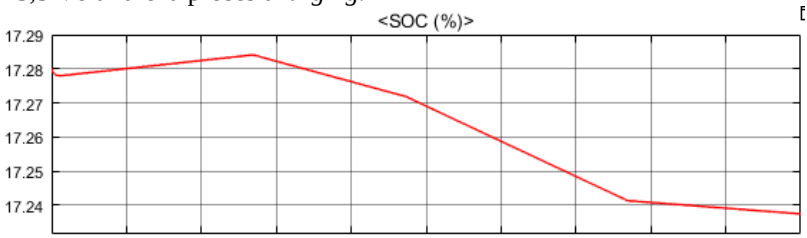
Daya beban yang digunakan adalah 110 Watt, sementara iradiansi matahari dan temperatur masing-masing adalah 1000 W/m^{2}dan 25°C. Hasil simulasi ditujukan dalam table 4.1. Daya yang dikeluarkan PV adalah daya maksimum PV ketika iradiansi 1000 W/m^2. Sementara kelebihan daya dari PV akan digunakan untuk melakukan pengisian daya terhadap baterai ditunjukkan pada konverter bidirectional yang mengalami mode *buck*. Pada simulasi terdapat tanda negatif pada daya baterai menunjukkan bahwa baterai sedang *charging*.

Tabel 4. 1 Aliran daya sistem pada skenario pertama

Bagian Sistem	Daya (Watt)
Array PV	148,5
Baterai	20
Beban	110

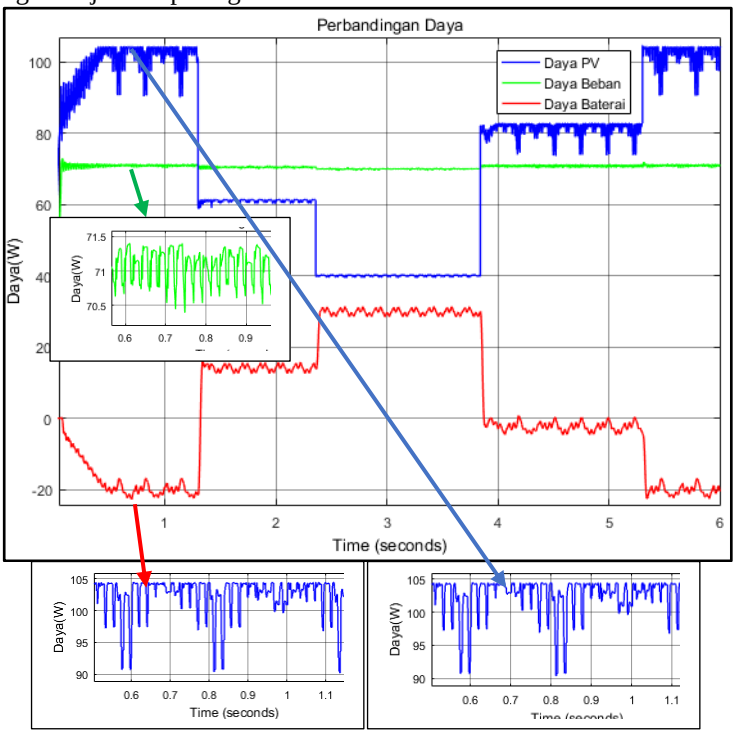
Dengan menganalisis perbandingan daya yang digunakan untuk menyuplai beban, maka suplai dari daya dari sumber PV menghasilkan daya baterai yang tersimpan 18.18%.

Gambar 4.1 menunjukkan kenaikan SOC dari kondisi awal 90% menjadi 92,8% dan tegangan baterai dari kondisi awal 15 Volt menjadi 15,5 Volt karena proses *charging*.



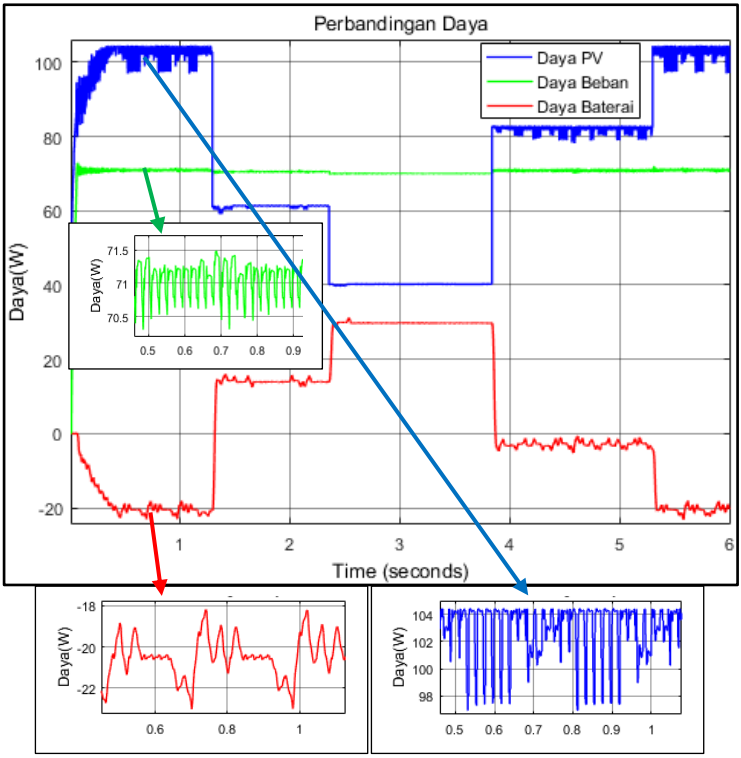
Gambar 4. 1 Kenaikan SOC dan tegangan baterai ketika skenario pertama

Penulis pertama kali menguji nilai dan parameter dengan menggnakan beban resistif 71 W dengan daya PV 104,4 W dan kapasistas baterai 11 V,1800 mAh. Didapatkan hasil simulasi sistem aktif manajemen daya dengan menggunakan MPPT Metode *Hill Climbing* yang ditunjukkan pada gambar 3.25



Gambar 4. 2 Respon Perbandingan Daya dengan MPPT Metode Hill Climbing

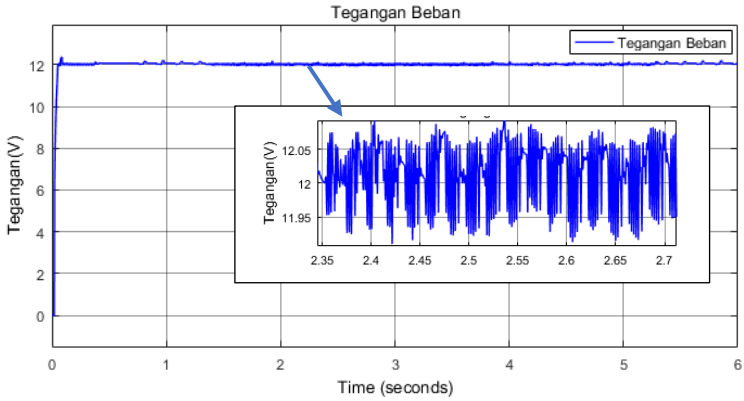
Penulis pertama kali menguji nilai dan parameter dengan menggnakan beban resistif 71 W dengan daya PV 104,4 W dan kapasistas baterai 11 V ,1800 mAh. Didapatkan hasil simulasi sistem aktif manajemen daya dengan menggunakan MPPT Metode *Fuzzy* yang ditunjukkan pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Respon Perbandingan Daya dengan MPPT Metode Fuzzy

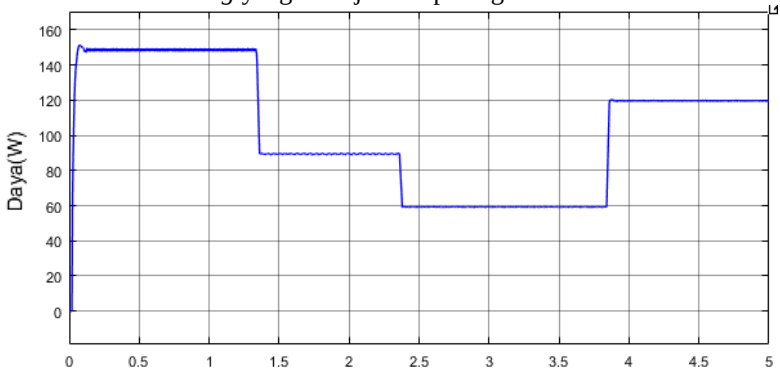
Dari hasil simulasi tersebut didapatkan hasil manajemen daya beban resistif dengan MPPT metode *Hill Climbing* P_{pv} = 104.4 Watt dengan memiliki error 16% pada 90 Watt pada iradiansi $1000W/m^2$ dengan kebutuhan P_{beban}= 71 Watt sehingga daya PV melakukan *charging* ke baterai sebesar $P_{baterai}$ = 16-23 Watt. Berdasarkan konsep manajemen daya bahwa $P_{pv} = P_{beban} + P_{baterai}$. Tetapi dari hasil simulasi didapatkan total dari $P_{pv} = P_{beban} + P_{baterai}$ = 71+23 = 94 Watt. Jadi terdapat drop daya 10 Watt yang berasal dari efisiensi konverter. Tetapi respon tegangan beban terhadap pengaruh tegangan PV mampu mempertahankan tegangan 11.95-12.05 Volt sesuai dengan tegangan

reference yang diinginkan 12 Volt sehingga memiliki error 0.4% yang ditunjukkan pada gambar 4.4

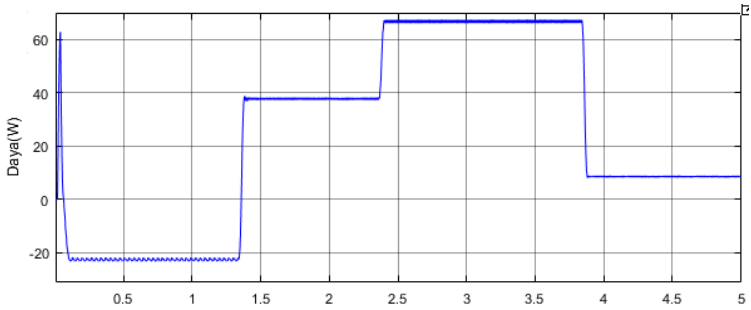


Gambar 4. 4 Respon Tegangan Beban Resistif

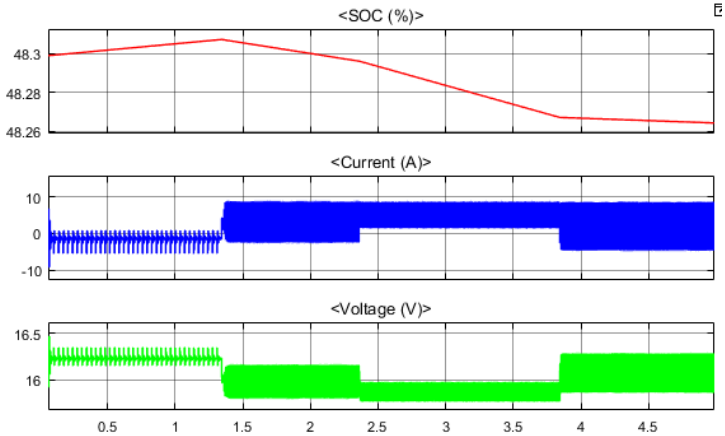
Kemudian penulis mensimulasikan berdasarkan nilai dan parameter pada gambar 3.1 , gambar 3.2 , dan tabel 3.7 didapatkan hasil simulasi sistem aktif manajemen daya dengan menggunakan MPPT Metode *Hill Climbing* yang ditunjukkan pada gambar 4.5



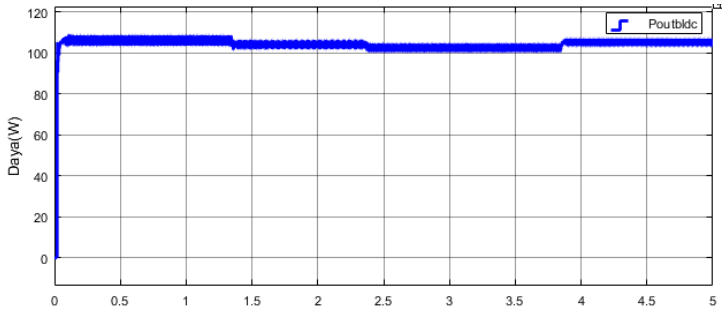
Gambar 4. 5 Respon Daya PV



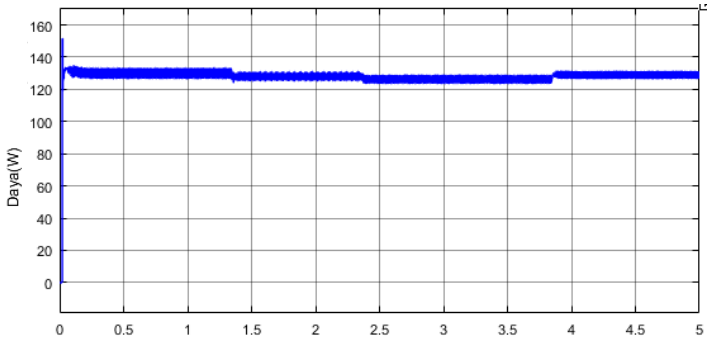
Gambar 4. 6 Respon Daya Baterai



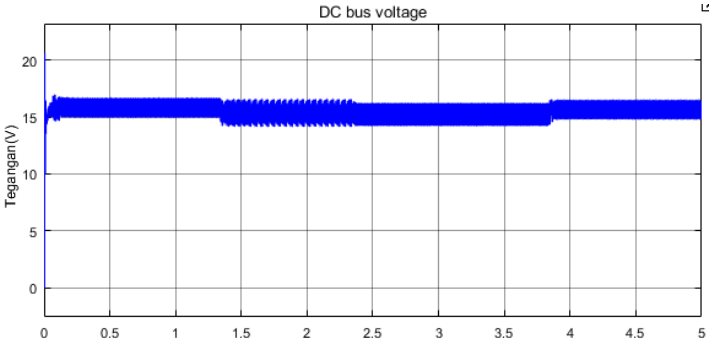
Gambar 4. 7 Respon SOC, Arus dan Tegangan Baterai



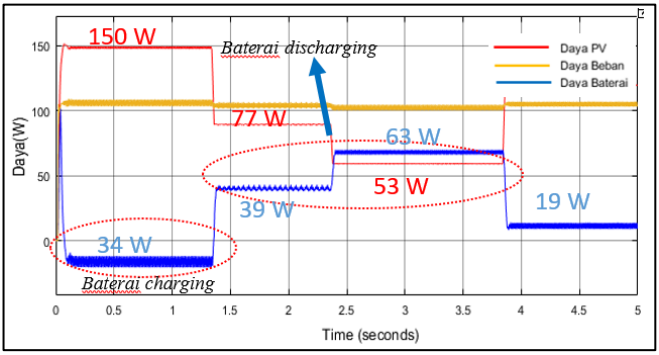
Gambar 4. 8 Respon Daya Output BLDC



Gambar 4. 9 Respon Daya Input BLDC



Gambar 4. 10 Respon Tegangan DC Bus



Gambar 4. 11 Respon Perbandingan Daya PV, Baterai dan Motor BLDC

4.2 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Kedua

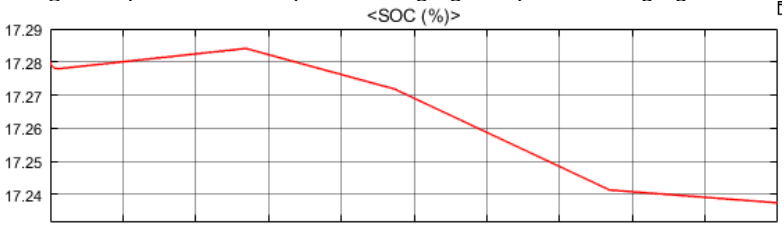
Daya beban yang digunakan adalah 110 Watt, sementara iradiansi matahari dan temperatur masing-masing adalah 1000 W/m^{2}dan 25°C. Hasil simulasi ditujukan dalam table 4.2. Daya yang dikeluarkan PV adalah daya maksimum PV ketika iradiansi 1000 W/m^2. Sementara kelebihan daya dari PV akan dibuang dalam ke dalam dummy load untuk memaksimalkan kerja MPPT karena kondisi baterai memiliki nilai SOC 90% sehingga tidak perlu dalam melakukan pengisian daya terhadap baterai ditunjukkan pada konverter bidirectional yang mengalami mode *off*. Pada simulasi *scope* terdapat tanda bahwa kurva berada dinilai 0 pada daya baterai menunjukkan bahwa baterai tidak sedang *charging* dan *discharging*.

Tabel 4. 2 Aliran daya sistem pada skenario kedua

Bagian Sistem	Daya (Watt)
Array PV	148.5
Baterai	0,00
Beban	110

Dengan menganalisis perbandingan daya yang digunakan untuk menyuplai beban, maka suplai dari daya dari sumber PV adalah 100% dari kebutuhan daya beban, sementara daya baterai menyuplai 0% dari kebutuhan daya beban.

Gambar 4.12 menunjukkan SOC dan tegangan baterai yang tidak mengalami perubahan dari proses *charging* ataupun *discharging*.



Gambar 4. 12 Nilai SOC dan tegangan baterai yang tetap ketika skenario kedua

4.3 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Ketiga

Daya beban yang digunakan adalah 110 Watt, sementara iradiansi matahari masing-masing adalah 600 W/m^{2}dan 400 W/m^2 dengan temperatur 25°C. Hasil simulasi ditujukan dalam table 4.3. Daya

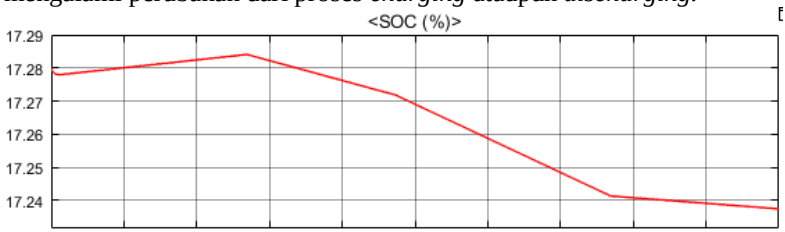
yang dikeluarkan PV adalah daya maksimum PV ketika iradiansi 600 W/m^{2}dan 400 W/m^2. Sementara kekurangan daya dari PV akan tetap digunakan untuk menyuplai daya beban karena baterai dalam keadaan belum cukup terisi sehingga tidak diperbolehkan menyuplai beban membantu kekekurangan daya PV. Sehingga diakibatkan rating daya beban mengalami penurunan ditunjukkan pada penurunan kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar

Tabel 4. 3 Aliran daya sistem pada skenario ketiga

Bagian Sistem	Daya (Watt)
Array PV	60
Baterai	0,00
Beban	60

Dengan menganalisis perbandingan daya yang digunakan untuk menyuplai beban, maka suplai dari daya dari sumber PV adalah 54% dari kebutuhan daya beban, sementara daya baterai menyuplai 0% dari kebutuhan daya beban.

Gambar 4.13 menunjukkan SOC dan tegangan baterai yang tidak mengalami perubahan dari proses *charging* ataupun *discharging.*



Gambar 4. 13 Nilai SOC dan tegangan baterai yang tetap ketika skenario ketiga

Perubahan kecepatan pada motor BLDC akibat dari penurunan kebutuhan daya beban yang diperlukan sebagai dampak dari daya PV yang kurang dari daya beban dan baterai yang belum siap dalam melakukan *discharging* karena dalam keadaan kosong. Keadaan tersebut ditunjukkan pada gambar

4.4 Simulasi dan Analisis Sistem Pada Skenario Keempat

Daya beban yang digunakan adalah 110 Watt, sementara iradiansi matahari masing-masing adalah 600 W/m^{2}dan 400 W/m^2

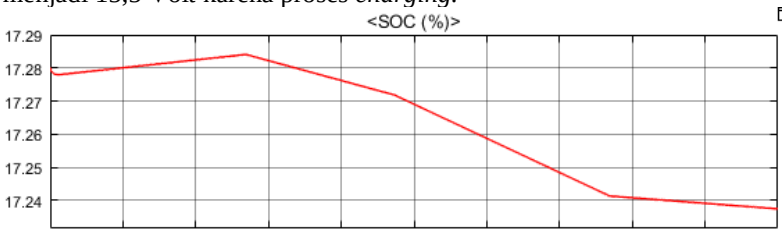
dengan temperatur 25°C. Hasil simulasi ditujukan dalam table 4.4. Daya yang dikeluarkan PV adalah daya maksimum PV ketika iradiansi 600 W/m^{2}dan 400 W/m^2. Sementara kekurangan daya dari PV akan dibantu oleh baterai yang ditunjukkan pada konverter bidirectional yang mengalami mode *boost.* Pada simulasi terdapat tanda positif pada daya baterai menunjukkan bahwa baterai sedang *discharging*.

Tabel 4. 4 Aliran daya sistem pada skenario keempat

Bagian Sistem	Daya (Watt)
Array PV	90
Baterai	40
Beban	110

Dengan menganalisis perbandingan daya yang digunakan untuk menyuplai beban, maka suplai dari daya dari sumber PV adalah 81.81% dari kebutuhan daya beban, sementara daya baterai menyuplai 36.36% dari kebutuhan daya beban.

Gambar 4.14 menunjukkan kenaikan SOC dari kondisi awal 90% menjadi 92,8% dan tegangan baterai dari kondisi awal 15 Volt menjadi 15,5 Volt karena proses *charging.*



Gambar 4. 14 Kenaikan SOC dan tegangan baterai ketika skenario keempat

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap desain dan simulasi sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya dapat disimpulkan menjadi beberapa hal sebagai berikut:

1. Perubahan nilai pancaran cahaya matahari yang diterima oleh *Photovoltaic* dapat memperngaruhi nilai daya keluaran daya yang dihasilkan *Photovoltaic.*
2. Kontrol *charge* dan *discharge* pada konverter *bidirectional* dipengaruhi oleh *duty cycle* .
3. Algoritma sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak merupakan hal terpenting yang menentukan kapan saat daya pada sel surya dan daya baterai akan memenuhi kebutuhan daya beban dengan lebih efisien.
4. Dengan menggunakan sistem aktif manajemen daya dapat mengurangi dari pengaruh *overcharging* pada baterai berdasarkan penentuan SOC dan tegangan *cut off* baterai.
5. MPPT dengan menggunakan algoritma logika *fuzzy* akan memaksimalkan keluaran daya pada sel surya sebagai sumber utama pada pesawat tanpa awak bertenaga surya.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk perkembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Penambahan ekualisasi baterai *lithium ion-polymer* ketika melakukan *charging* pada pesawat tanpa awak bertenaga surya.
2. Mengimplementasikan desain dan simulasi sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya.
3. Komponen sistem aktif manajemen daya pada pesawat tanpa awak bertenaga surya lebih baik menggunakan komponen SMD agar lebih ringan.
4. Penambahan pemantauan suhu dari baterai *lithium-ion polymer* agar tidak *overheating* pada baterai.
5. Menggunakan konverter tambahan dalam mengatur arus pada beban pesawat tanpa awak bertenaga surya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Diab-Marzouk, "SiC-Based Bidirectional Cuk Converter With Differential Power Processing and MPPT for a Solar Powered Aircraft," *IEEE Transaction On Transportation Electrification*, vol. 1, no. 4, pp. 369-381, 2015.

[2] G. d. C. Bertoli, "Extending Flight Endurance of Electric Unmanned Aerial Vehicles through Photovoltaic System Integration," in *4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Palermo, 2015.

[3] M. Gradella, J. R. Gazoli and R. E. Filho, "Comprehensive Approach to Modelling and Simulation of Photovoltaics Arrrays," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, 2009.

[4] Krismadinata, N. A. Rahim, W. P. H. and S. J., "Photovoltaic Module Modeling Using Simulink/Matlab," in *The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Securi*, 2012.

[5] K. E. A., "Fuzzy-Logic-Controller-Based SEPIC Converter for Maximum Power Point Tracking," *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol. 50, no. 4, pp. 2349-2358, 2014.

[6] M. G., Renewable and Efficient Electric Power Systems, Canada: John Wiley & Sona, 2004.

[7] W. S., "Development of a Mathematical Model for Solar Module in Photovoltaics Systems," in *6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 2011.

[8] P. V. N., "Fuzzy Logic Based Hill Climbing Method For Maximum Power Point Tracking In PV System," in *International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC)*, 2013.

[9] N. A., H. S. M. and M. M. Z., "A Survey of Maximum PPT Techniques of PV Systems," in *IEEE*, Cleveland, 2012.

[10] M. T., Practical Handbook of Photovoltaic Fundamental and Application, Oxford: Elsevier, 2003.

[11] H. R.-E. J. J. R.-A. M.-Y. C. Noemi Otero, "Implementation of an Observer for State of Charge Estimation in Lithium-Polymer

Batteries," in *International Conference on Mechatronics and Control(ICMC)*, JInzhou, China, 2014.

[12] X. Chen, W. Shen, M. Dai, Z. Cao, J. Jin and A. Kapoor, "Robust Adaptive Sliding-Mode Observer Using RBF Neural Network for Lithium-Ion Battery State of Charge Estimation in Electric Vehicles," *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 65, no. 4, p. 1, 2016.

[13] B. G. Kim, F. P. Tredeau and Z. M. Salameh, "Performance Evaluation of Lithium Polymer Batteries for Use in Electric Vehicles," in *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, China, 2008.

[14] IEEE, "IEEE Citation Reference," [Online]. Available: www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf.

[15] Feedback Instruments Ltd., Digital Pendulum: Control in a Matlab Environment, Sussex, UK: Feedback Instruments Ltd., 2006.

[16] K. Tanaka and M. Sugeno, "Stability analysis and design of fuzzy control," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp. 135-156, 1992.

LAMPIRAN

Datasheet Motor BLDC

Inside Rotor Brushless Motors

Silencer® Series Brushless DC Motor

TYPICAL APPLICATIONS

- Robotics
- Commercial and military aircraft actuation systems
- Oil exploration equipment
- Medical pumps and compressors
- Packaging equipment

FEATURES

- 6 pole inside rotor for quick acceleration
- High torque / volume ratio
- High energy sintered neodymium magnets
- High stator slot fill for high Km
- Skewed rotor for minimum detent torque

BENEFITS

- Operation at any single speed - not limited to AC frequency
- Motor life is not limited to brush or commutator life
- An essentially linear speed / torque curve
- Efficient operation without losses associated with brushes and commutation or armature induction
- Precise, variable speed control
- Extremely quiet operation
- Long-life operation
- High performance in a compact package

BS12 High Performance

The BS12 is a very high energy size 12 brushless DC motor. Utilizing rare earth sintered magnets and hand inserted stator windings, the motor has a very high torque / volume ratio. Ideal for applications requiring a high energy, high efficiency brushless DC motor where space is limited.

Hall-effect feedback is standard with sensorless or resolver feedback optional. Other options include gearheads and ballscrews. Custom solutions available.

For more information about how this product can be tailored to fit your specific application, contact our applications engineers.

BS12 SPECIFICATIONS - *Continuous Stall Torque 12 - 14 oz-in (.085 - .099 Nm)*
Peak Torque 35 oz-in (0.25 Nm)

Part Number*		BS12-20AB-□□T□□			BS12-20ZAB-□□T□□		
Winding Code**		01	02	03	01	02	03
L = Length	inches	2			1.485		
	millimeters	50.8			37.7		
Terminal Voltage	volts DC	12	24	24	12	24	24
Peak Torque	oz-in	35	35	35	35	35	35
	Nm	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Continuous Stall Torque	oz-in	14	13	12	14	13	12
	Nm	.099	.092	.085	.099	.092	.085
Rated Speed	rpm	4750	5250	15000	4750	5250	15000
	rad/sec	497	550	1571	497	550	1571
Rated Torque	oz-in	12	11.6	10	12	11.6	10
	Nm	0.0847	0.0819	0.0706	0.0847	0.0819	0.0706
Rated Current	Amps	6.30	2.90	8	6.30	2.90	8
Rated Power	watts	42.2	45	110	42.2	45	110
Torque Sensitivity	oz-in/amp	1.99	4.28	1.42	1.99	4.28	1.42
	Nm/amp	0.0141	0.0302	0.0100	0.0141	0.0302	0.0100
Back EMF	volts/KRPM	1.47	3.16	1.05	1.47	3.16	1.05
	volts/rad/sec	0.0141	0.0302	0.0100	0.0141	0.0302	0.0100
Terminal Resistance	ohms	0.32	1.43	0.22	0.32	1.43	0.22
Terminal Inductance	mH	0.22	0.95	0.11	0.22	0.95	0.11
Motor Constant	oz-in/sq.rt.watts	3.52	3.58	3.03	3.52	3.58	3.03
	Nm/sq.rt.watts	0.02484	0.02527	0.02138	0.02484	0.02527	0.02138
Rotor Inertia	oz-in-sec^{2}x10^{-3}	0.048	0.048	0.048	0.037	0.037	0.037
	g-cm^2	3.4	3.4	3.4	2.6	2.6	2.6
Weight	oz	5.3	5.3	5.3	4.4	4.4	4.4
	g	150.5	150.5	150.5	125.0	125.0	125.0
# of Poles		6	6	6	6	6	6
Timing		120°	120°	120°	120	120°	120°
Mech. Time Constant	ms	0.5	0.5	0.7	0.4	0.4	0.6
Electrical Time Constant	ms	0.69	0.66	0.50	0.69	0.66	0.50
Thermal Resistivity	deg. C/watt	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Speed/Torque Gradient	rpm/oz-in	109.3	105.6	147.6	109.3	105.6	147.6
No Load Speed	rpm	7480	7255	21900	7480	7255	21900
	rad/sec	783	760	2293	783	760	2293

BIODATA PENULIS

Penelitian dengan judul **"Desain dan Simulasi Sistem Aktif Manajemen Daya Pesawat Tanpa Awak Bertenaga Surya"** di selesaikan dengan penulis bernama **Wahyu Prihartopo**, salah satu mahasiswa S1 Teknik Elektro FTE – ITS, program studi Teknik Sistem Tenaga, yang lahir di Klaten, 06 Oktober 1995. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 1 Trotok, SMPN 1 Wedi dan SMAN 2 Klaten. Wahyu Prihartopo adalah seorang mahasiswa yang memiliki hobi badminton, travelling, dan naik gunung. Penulis semasa kuliahnya Alhamdulillah mendapat beasiswa selama 4 tahun dan memiliki usaha mini dibidang fashion, elektronika dan peternakan. Selain itu, penulis aktif di dalam organisasi dan lomba. Salah satunya pernah menjadi Staff Ristek UKM Robotika, Staff Pelatihan UKM IBC, dan Staff FSLDK JMMI ITS. Tahun 2015-2016, pernah menjadi Wakil Ketua Eksternal UKM Robotika ITS dan Tim Roboboat ITS "BARUNASTRA ITS" selama 2 tahun. Tahun 2016-2017 ini, saya diamanahi di Kadiv Media Informasi LMB ITS. Alhamdulillah, saya memiliki pengalaman pelatihan seperti ESQ, LKMM Pra TD ITS, LKMM TD LMB ITS, dan PMO ITS. Bisa mengajarkan ilmu saya dibidang robotika di salah satu SMA swasta di Gresik, SD di Sidoarjo, dan saat ini di Merlion School. Sedangkan prestasi saya pernah Juara III Beregu Putra di POMITS 2015, Juara Best Design KKCTBN UI 2014, Juara I dan III kategori Autonomous Boat *Deconbotion Maritime Festival* UNDIP 2015, Juara III dan *Savitsky Award* di *AUVSI Roboboat Competition* Amerika 2016.

Penulis dapat dihubungi melalui : wahyuprihartopo27@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan