

**RANCANG BANGUN DC-DC *CONVERTER* TERKENDALI DALAM
SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA MODUL PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS *ADAPTIVE FUZZY***



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S1 Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Tadulako

Diajukan Oleh:

Kiki Andes Hariyanti

Stb. F44116027

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TADULAKO
PALU
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Berdasarkan persetujuan dari Panitia Ujian Skripsi Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako, maka Judul :

**“RANCANG BANGUN DC-DC *CONVERTER* TERKENDALI DALAM
SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA MODUL PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS *ADAPTIVE FUZZY*”**

Disusun oleh :

Kiki Andes Hariyanti

Stambuk : F44116027

Disahkan oleh :

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Tadulako

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Eng. Ir. Andi Rusdin, ST, M.Sc, IPM

NIP. 19710303 199803 1 003

Dr. Yuli Asmi Rahman, ST., M. Eng

NIP. 19810702 200501 2 001

HALAMAN PERETUJUAN

Pada hari, tanggal....., bulan ..., tahun, Panitia Ujian Skripsi Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, berdasarkan SK, tanggal, bulan, tahun, menyatakan menerima, menyetujui Skripsi yang telah dipertanggung jawabkan dihadapan Panitia Ujian Skripsi oleh :

Kiki Andes Hariyanti : F441 16 027

Judul :

**“RANCANG BANGUN DC-DC *CONVERTER* TERKENDALI DALAM
SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA MODUL PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS *ADAPTIVE FUZZY*”**

Panitia Ujian Skripsi:

No	Nama	Jabatan	Tandatangan

Palu, 2022

Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro

Nurhani Amin, S.Pd, MT

NIP. 197890827 200801 2018

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : KIKI ANDES HARIYANTI

No. Stambuk : F 441 16 027

Judul Skripsi : “RANCANG BANGUN DC-DC CONVERTER TERKENDALI
DALAM SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS ADAPTIVE
FUZZY”

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Palu, 28 Januari 2020

Penulis

Kiki Andes Hariyanti

Stb. F 441 16 027

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmtullahi wabarakatuh

Tak henti rasa syukur diucapkan kepada Allah Subhanahu Wata'alaa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN DC-DC *CONVERTER* TERKENDALI DALAM SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS ADAPTIVE FUZZY”** ini. Penulisan proposal Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi syarat menyelesaikan studi di Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.

Proposal Tugas Akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak yang telah memberikan gagasan, bimbingan dan berbagai dukungan lainnya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng . Andi Rusdin, ST., MT., M.Sc. Sebagai Dekan Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
2. Bapak Baso Mukhlis, ST., MT. Sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
3. Ibu Nurhani Amin, S.Pd., MT. Sebagai Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
4. Ibu Ir. Mery Subito, MT. Sebagai Ketua KDK Teknik Elektronika Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
5. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan pendidikan dan pengetahuan yang sangat berarti kepada penulis.
6. Seluruh staf akademik dan administrasi Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan semangat dan bantuannya selama ini.
7. Bapak dan Ibu tercinta yang tak henti-hentinya mendoakan penulis, hingga penulis bisa menyelesaikan laporan ini.
8. Seluruh rekan-rekan senior angkatan 1999-2015 yang menjadi panutan

mulai pengurusan hingga pembuatan laporan kerja praktek.

9. Seluruh pengurus inti Himpunan Mahasiswa Elektro Fakultas Teknik, Universitas Tadulako.
10. Keluarga besar angkatan 2016 dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis memohon maaf atas tidak sempurnaan proposal tugas akhir ini dan menerima apabila ada kritik dan saran yang diberikan. Penulis berharap proposal ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun masyarakat umum.

Wassalamu'alaikum warahmatullah.

Palu, 28 Januari 2020

Penulis,

KIKI ANDES HARIYANTI

Stb. F 441 16 027

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	8
2.2.2 Modul Lab-Volt Solar/Wind Enegy Training System 46801-J0	15
2.2.3 <i>DC-DC Boost Converter</i>	17
2.2.4 Arduino.....	27
2.2.5 Sensor	28
BAB III	31

METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Alat	31
3.2 Bahan	32
3.3 Cara Penelitian	32
3.3.1 Studi Kepustakaan.....	36
3.3.2 Perancangan Sistem	36
3.3 Diagram Blok.....	36
3.4 Pengujian	37
BAB IV	38
HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Penelitian.....	38
4.1.1 Desain Rangkaian <i>Boost Converter</i>	38
4.1.2 Pengujian Alat.....	44
4.2 Pembahasan.....	63
BAB V.....	67
KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian Bagian PLTB (Sumber : jendeladenngabei.blogspot.com)..	13
Gambar 2. 2 Rangka Modul Lab-Volt Solar/Wind Enegy Training System 46801-J0 (Sumber : datasheet Solar/Wind Energi Training System Model 46120).....	16
Gambar 2. 3 Generator dan Motor DC pada modul Lab-Volt Solar/Wind Enegy Training System 46801-J0 (Sumber : datasheet Solar/Wind Energi Training System Model 46120).....	16
Gambar 2. 4 Converter AC ke AC (Sumber : http://blog.ub.ac.id).....	19
Gambar 2. 5 Converter 3 Phasa (Sumber : http://blog.ub.ac.id)	20
Gambar 2. 6 Pengubah tipe linier (Sumber : http://blog.ub.ac.id)	21
Gambar 2. 7 Pengubah tipe peralihan (Sumber : http://blog.ub.ac.id)	22
Gambar 2. 8 Tegangan keluaran.....	22
Gambar 2. 9 Pengubah Buck.....	24
Gambar 2. 10 Pengubah Boost (Sumber : http://blog.ub.ac.id)	25
Gambar 2. 11 Pengubah Buck-Boost.....	26
Gambar 2. 12 Pengubah Cuk (Sumber : http://blog.ub.ac.id).....	27
Gambar 2. 13 rangkaian arduino uno (Sumber: elektronika, 2016)	28
Gambar 2. 14 Modul sensor tegangan (Sumber : Rizal Fachri Arduino Power Elektronik, 2017).....	29
Gambar 3. 1 Solar/Wind Energi Training System (Sumber : pribadi (27 Januari 2020))	32
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian	33
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem Penelitian	36
Gambar 4. 1 Rangkaian Boost Converter	41
Gambar 4. 2 Gambar rangkaian simulasi menggunakan Proteus.....	42
Gambar 4. 3 Simulasi rangkaian menggunakan PSIM	43
Gambar 4. 4 Rangkaian Boost Converter	43
Gambar 4. 5 Kurva Perubahan nilai antara Vin dan Vout	45
Gambar 4. 6 Kurva Perbandingan Nilai Vin dan Perubahan Nilai Beban.....	47
Gambar 4. 7 Membership Function variabel error	50

Gambar 4. 8 Membership Function variabel derror	51
Gambar 4. 9 Membership Function Variabel Duty	53
Gambar 4. 10 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin	54
Gambar 4. 11 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Beban	56
Gambar 4. 12 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin	58
Gambar 4. 13 Kurva Perbandingan Nilai Vin dan Perubahan Nilai Beban	60
Gambar 4. 14 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin	61
Gambar 4. 15 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Beban	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Perbandingan Penelitian Yang Pernah dilakukan	6
Tabel 2. 2 Spesifikasi Generator Modul PLTB	17
Tabel 2. 3 Spesifikasi Motor DC Modul PLTB	17
Tabel 4. 1 Parameter Boost Converter.....	38
Tabel 4. 2 Parameter Boost Converter.....	40
Tabel 4. 3 Spesifikasi Baterai (Accu).....	41
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Open Loop)	45
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif Berubah-ubah 100-20 Ohm dan Tegangan Input Tetap (Open Loop)	46
Tabel 4. 6 Fuzzy Rule Base.....	53
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Close Loop).....	54
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap Berubah-ubah 100-20 Ohm dan Tegangan Input Tetap (Close Loop)	55
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Open Loop) Menggunakan Modul PLTB.....	58
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif Berubah-ubah 20-100 Ohm dan Tegangan Input Tetap (Open Loop) Menggunakan Modul PLTB.....	59
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Close Loop) Menggunakan Modul PLTB	61
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif Berubah-ubah 20-100 Ohm dan Tegangan Input Tetap (Close Loop) Menggunakan Modul PLTB	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu energi yang dihasilkan dari proses konversi energi, dimana saat ini listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat. Hampir seluruh aspek kehidupan di masyarakat seperti memasak, mandi, hingga mencuci membutuhkan energi listrik. Untuk mendapatkan energi listrik yang dapat digunakan dalam masyarakat dibutuhkan sebuah pembangkit yang berfungsi sebagai alat konversi energi.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah sebuah pembangkit listrik yang sumber energi utamanya adalah angin (bayu). PLTB merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi baru terbarukan dimana angin yang bertiup bebas di alam dimanfaatkan untuk menggerakkan bilah kincir angin sehingga dapat memutar generator dan menghasilkan energi yang akan diproses oleh sebuah *controller* agar dapat men-*charger* baterai sebagai media penyimpanan energi listrik.

Angin yang ada di alam memiliki kecepatan yang berbeda-beda setiap waktu, sehingga tegangan yang dihasilkan oleh generator turbin angin memiliki nilai tegangan yang berbeda-beda pula, hal ini sangat berpengaruh dalam proses *charger* baterai. Dalam proses *charger* baterai dibutuhkan tegangan yang konstan untuk dapat mengisi baterai dengan maksimal. Sehingga diperlukan sebuah pengontrol yang dapat mengatur tegangan masuk untuk mengisi baterai.

Dari permasalahan tersebut, maka penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN DC-DC CONVERTER TERKENDALI DALAM SISTEM PENGISIAN BATERAI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (PLTB) BERBASIS ADAPTIVE FUZZY" dimana dalam penelitian ini akan dirancang sebuah *converter* terkendali yang dapat mengatur tegangan dari generator turbin angin untuk mendapatkan sebuah tegangan yang konstan sehingga dapat digunakan untuk mengisi baterai. Dalam penelitian ini, PLTB yang digunakan adalah sebuah modul PLTB yang ada di laboratorium distribusi Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako, dimana energi yang dihasilkan adalah dari generator yang diputar oleh sebuah motor DC dengan kecepatan tertentu. Putaran motor DC ini dianggap perputaran angin di alam. Dalam sistem ini generator akan menghasilkan tegangan yang nantinya akan diatur oleh rangkaian *converter* dimana *output* dari *converter* akan dikontrol menggunakan pengontrol *Adaptive Fuzzy*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang *Boost converter* dengan parameter yang sesuai.
2. Bagaimana membuat rangkaian *Boost converter* yang dapat mengatur tegangan *output* nya sehingga menghasilkan tegangan konstan untuk mengisi baterai.
3. Bagaimana menerapkan metode kontrol *Adaptive Fuzzy* yang ditanamkan ke dalam mikrokontroller.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Memahami cara membuat rangkaian *Boost converter*.

2. Mengkaji dan mengaplikasikan metode *control Adaptive Fuzzy* pada mikrokontroller sebagai metode yang digunakan pada *converter*.
3. Dapat mengaplikasikan rangkaian *boost converter* pada system pengisian baterai di PLTB.

1.4 Batasan Penelitian

1. Sistem kontrol menggunakan mikrokontroller dengan *Adaptive Fuzzy* yang mengambil data dari arus dan tegangan keluaran *Boost converter*.
2. Energi listrik yang dihasilkan bersumber dari generator pada modul PLTB yang ada di Laboratorium Distribusi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako dimana tegangan dan arus maksimum yang dihasilkan generator adalah sebesar 6 Volt 1 Ampere.
3. Angin yang dihasilkan untuk memutar generator adalah putaran motor pada modul PLTB yang ada di Laboratorium Distribusi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Menambah pengetahuan tentang PLTB.
2. Menambah pengetahuan tentang *converter* sebagai pengubah tegangan dari DC ke DC.
3. Menambah pengetahuan dan dapat mengaplikasikan metode pengontrolan *Adaptive Fuzzy* ke mikrokontroller.
4. Dapat mengaplikasikan *boost converter* dalam sistem pengisian baterai pada PLTB.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan memahami permasalahan yang akan dibahas maka penelitian ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi mengenai teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan. Dasar teori pada bab ini meliputi gambaran umum mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan penjelasan mengenai metode pengendalian *Adaptive Fuzzy*.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang tahapan pembuatan sistem kontrol PLTB dalam pengisian Baterai, menentukan alat dan bahan dalam pembuatan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil dari penelitian yang dilakukan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran sebagai hasil dari penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bagian ini mencantumkan semua referensi yang digunakan dalam penulisan seminar hasil.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Telah banyak penelitian tentang Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), begitu juga sistem kontrol yang digunakan dalam PLTB tersebut. Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai *converter* dan penggunaan sistem kontrol *Adaptive Fuzzy* pada mikrokontroler, dimana penelitian-penelitian inilah yang akan dipertimbangkan dan dipelajari sebagai acuan penulis untuk mengembangkan ide dalam penulisan ini.

Adapun beberapa penelitian yang telah dilakukan antara lain terdapat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tabel Perbandingan Penelitian Yang Pernah dilakukan

Rancang Bangun Pengontrolan Pengisian Baterai dengan Sumber Sel Surya Berbasis Arduino” Oleh Saipul dan Aria Nurul Haq pada tahun 2018		
Keterangan : Dalam penelitian ini membahas tentang penggunaan <i>Cuk Converter</i> dengan metode kontrol PID dengan sumber sel surya.		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian Sebelumnya	Penelitian Penulis
Menggunakan <i>converter</i> untuk menstabilkan tegangan agar dapat mengisi baterai dengan maksimal	1. Sumber dari pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	1. Sumber dari <i>converter</i> menggunakan modul PLTB 2. Menggunakan sistem kontrol <i>adaptive fuzzy</i>

	2. Menggunakan sistem kontrol PID	
“Rancang Bangun Pengendali <i>Buck Boost Converter</i> dengan Beban Motor DC Berbasis Arduino” Oleh Mahwada dan Rusdi, tahun 2019		
Keterangan : Dimana penelitian ini membuat sebuah rangkaian <i>buck boost converter</i> dengan pengendali PID untuk mengatur lebar pulsa (<i>duty cycle</i>) dengan beban motor DC		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian Sebelumnya	Peneitian Penulis
Merancang <i>converter</i> untuk mengatur tegangan.	1. Penelitian ini menggunakan beban motor DC	2. Penulis menggunakan beban baterai
Desain, Pemodelan dan Pengendalian <i>Buck Boost Converter</i> dengan Beban Baterai menggunakan Kendali Baterai” Oleh Desiana Tahun 2018		
Keterangan : Dimana penelitian ini mendesain rangkaian <i>Buck Boost converter</i> yang dikendalikan oleh PID untuk mengisi baterai		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian sebelumnya	Penelitian Penulis
1. Mendesain <i>converter</i> 2. Menggunakan beban baterai	Dalam penelitian ini membuat desain simulasi <i>Buck Boost converter</i> menggunakan aplikasi matlab	Penulis merancang rangkaian dan mengaplikasikannya secara langsung pada modul PLTB

“Rancang Bangun <i>Buck Boost Converter</i> pada Panel Surya Menggunakan metode Kontrol PI dan PID Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535” oleh Dedy Siddik Sidabutar, dkk.		
Persamaan	Perbedaan	
	Penelitian sebelumnya	Penelitian Penulis
Merancang <i>converter</i>	Menggunakan sistem kontrol PI dan PID	Menggunakan sistem kontrol <i>adaptiv fuzzy</i>

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau sering juga disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan. PLTB memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya.

Alumnus ITB Kadek Fendy Sutrisna menerangkan, prinsip kerja PLTB memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling/kincir angin, kemudian energi putar ini diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik.

Mengutip artikel tentang PLTB dalam situs alpensteel.com Prinsip kerja PLTB sangat sederhana. Angin memutar turbin angin atau orang lebih mengenalnya dengan sebutan kincir angin. Karena turbin berputar, generator yang satu poros dengan turbin ikut berputar. Jadilah energi listrik. Pada PLTB yang sudah dikelola secara korporat, listrik langsung dialirkan melalui transmisi. Sedangkan pada PLTB rumahan, biasanya energi disimpan pada baterai.

Tapi untuk membangun sebuah PLTB yang bisa menghasilkan listrik maksimal memang tidak semudah perkiraan. Ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi, salah satunya yang terpenting adalah kecepatan dan juga kestabilan angin. Kecepatan angin yang diharapkan biasanya berkisar antara 2 hingga 17 m/s dan konstan.

a. Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Keuntungan utama dari penggunaan pembangkit listrik tenaga angin secara prinsipnya adalah disebabkan karena sifatnya yang terbarukan. Hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karenanya tenaga angin dapat berkontribusi dalam ketahanan energi dunia di masa depan. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan.

Penetapan sumber daya angin dan persetujuan untuk pengadaan ladang angin merupakan proses yang paling lama untuk pengembangan proyek energi angin. Hal ini dapat memakan waktu hingga 4 tahun dalam kasus ladang angin yang besar yang membutuhkan studi dampak lingkungan yang luas.

Emisi karbon ke lingkungan dalam sumber listrik tenaga angin diperoleh dari proses manufaktur komponen serta proses pengerjaannya di tempat yang akan didirikan pembangkit listrik tenaga angin. Namun dalam operasinya membangkitkan listrik, secara praktis pembangkit listrik tenaga angin ini tidak menghasilkan emisi yang berarti. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan batubara, emisi karbon dioksida pembangkit listrik tenaga angin ini hanya

seper seratusnya saja. Disamping karbon dioksida, pembangkit listrik tenaga angin menghasilkan sulfur dioksida, nitrogen oksida, polutan atmosfer yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan pembangkit listrik dengan menggunakan batu bara ataupun gas. Namun begitu, pembangkit listrik tenaga angin ini tidak sepenuhnya ramah lingkungan, terdapat beberapa masalah yang terjadi akibat penggunaan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik, diantaranya adalah dampak visual derau suara, beberapa masalah ekologi, dan keindahan.

Dampak visual biasanya merupakan hal yang paling serius dikritik. Penggunaan ladang angin sebagai pembangkit listrik membutuhkan luas lahan yang tidak sedikit dan tidak mungkin untuk disembunyikan. Penempatan ladang angin pada lahan yang masih dapat digunakan untuk keperluan yang lain dapat menjadi persoalan tersendiri bagi penduduk setempat. Selain mengganggu pandangan akibat pemasangan barisan pembangkit angin, penggunaan lahan untuk pembangkit angin dapat mengurangi lahan pertanian serta pemukiman. Hal ini yang membuat pembangkitan tenaga angin di daratan menjadi terbatas. Beberapa aturan mengenai tinggi bangunan juga telah membuat pembangunan pembangkit listrik tenaga angin dapat terhambat. Penggunaan tiang yang tinggi untuk turbin angin juga dapat menyebabkan terganggunya cahaya matahari yang masuk ke rumah-rumah penduduk. Perputaran sudu-sudu menyebabkan cahaya matahari yang berkelap-kelip dan dapat mengganggu pandangan penduduk setempat.

Efek lain akibat penggunaan turbin angin adalah terjadinya derau frekuensi rendah. Putaran dari sudu-sudu turbin angin dengan frekuensi konstan lebih mengganggu daripada suara angin pada ranting pohon. Selain derau dari sudu-sudu

turbin, penggunaan *gearbox* serta generator dapat menyebabkan derau suara mekanis dan juga derau suara listrik. Derau mekanik yang terjadi disebabkan oleh operasi mekanis elemen-elemen yang berada dalam *nacelle* atau rumah pembangkit listrik tenaga angin. Dalam keadaan tertentu turbin angin dapat juga menyebabkan interferensi elektromagnetik, mengganggu penerimaan sinyal televisi atau transmisi gelombang mikro untuk perkomunikasian.

Penentuan ketinggian dari turbin angin dilakukan dengan menganalisa data turbulensi angin dan kekuatan angin. Derau aerodinamis merupakan fungsi dari banyak faktor seperti desain sudu, kecepatan perputaran, kecepatan angin, turbulensi aliran masuk. Derau aerodinamis merupakan masalah lingkungan, oleh karena itu kecepatan perputaran rotor perlu dibatasi di bawah 70m/s. Beberapa ilmuwan berpendapat bahwa penggunaan skala besar dari pembangkit listrik tenaga angin dapat merubah iklim lokal maupun global karena menggunakan energi kinetik angin dan mengubah turbulensi udara pada daerah atmosfer.

Pengaruh ekologi yang terjadi dari penggunaan pembangkit tenaga angin adalah terhadap populasi burung dan kelelawar. Burung dan kelelawar dapat terluka atau bahkan mati akibat terbang melewati sudu-sudu yang sedang berputar. Namun dampak ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kematian burung-burung akibat kendaraan, saluran transmisi listrik dan aktivitas manusia lainnya yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil. Dalam beberapa studi yang telah dilakukan, adanya pembangkit listrik tenaga angin ini dapat mengganggu migrasi populasi burung dan kelelawar. Pembangunan pembangkit angin pada lahan yang bertanah kurang bagus juga dapat menyebabkan rusaknya lahan di daerah tersebut.

Ladang angin lepas pantai memiliki masalah tersendiri yang dapat mengganggu pelaut dan kapal-kapal yang berlayar. Konstruksi tiang pembangkit listrik tenaga angin dapat mengganggu permukaan dasar laut. Hal lain yang terjadi dengan konstruksi di lepas pantai adalah terganggunya kehidupan bawah laut. Efek negatifnya dapat terjadi seperti di Irlandia, dimana terjadinya polusi yang bertanggung jawab atas berkurangnya stok ikan di daerah pemasangan turbin angin. Studi baru-baru ini menemukan bahwa ladang pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai menambah 80 – 110 dB kepada *noise* frekuensi rendah yang dapat mengganggu komunikasi ikan paus dan kemungkinan distribusi predator laut. Namun begitu, ladang angin lepas pantai diharapkan dapat menjadi tempat pertumbuhan bibit-bibit ikan yang baru. Karena memancing dan berlayar di daerah sekitar ladang angin dilarang, maka spesies ikan dapat terjaga akibat adanya pemancingan berlebih di laut.

Dalam operasinya, pembangkit listrik tenaga angin bukan tanpa kegagalan dan kecelakaan. Kegagalan operasi sudu-sudu dan juga jatuhnya es akibat perputaran telah menyebabkan beberapa kecelakaan dan kematian. Kematian juga terjadi kepada beberapa penerjun dan pesawat terbang kecil yang melewati turbin angin. Reruntuhan puing-puing berat yang dapat terjadi merupakan bahaya yang perlu diwaspadai, terutama di daerah padat penduduk dan jalan raya. Kebakaran pada turbin angin dapat terjadi dan akan sangat sulit untuk dipadamkan akibat tingginya posisi api sehingga dibiarkan begitu saja hingga terbakar habis. Hal ini dapat menyebarkan asap beracun dan juga dapat menyebabkan kebakaran berantai yang membakar habis ratusan *acre* lahan pertanian. Hal ini pernah terjadi pada Taman

Nasional Australia dimana 800 km² tanah terbakar. Kebocoran minyak pelumas juga dapat terjadi dan dapat menyebabkan terjadinya polusi daerah setempat, dalam beberapa kasus dapat mengkontaminasi air minum.

Meskipun dampak-dampak lingkungan ini menjadi ancaman dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga angin, namun jika dibandingkan dengan penggunaan energi fosil, dampaknya masih jauh lebih kecil. Selain itu penggunaan energi angin dalam kelistrikan telah turut serta dalam mengurangi emisi gas buang.

b. Bagian-Bagian PLTB

Pada Gambar 2.1 ditampilkan gambar bagian-bagian dari PLTB.



Gambar 2. 1 Bagian Bagian PLTB (Sumber : jendeladenngabei.blogspot.com)

Sistem tenaga angin terdiri atas beberapa komponen, yang meliputi :

1. Anemometer

Berfungsi untuk mengukur kecepatan dan mengirim data angin ke alat pengontrol, namun pada PLTH Pandansimo, Anemometer tidak dipasang atau digabung dengan kincir angin. Anemometer dipasang dengan tiang mandiri.

2. *Blade* (Bilah Kipas)

Kebanyakan turbin angin mempunyai dua atau tiga bilah kipas. Blade berfungsi untuk menangkap energi kinetik angin dan dirubah ke energi kinetik berupa putaran.

3. *Brake* (rem)

Pada turbin angin *Brake* berfungsi untuk mengontrol putaran kincir angin agar tidak melebihi putaran maksimum yang diijinkan. Jika putaran mencapai maksimum yang diijinkan maka *brake* ini akan bekerja secara otomatis. Di dalam sistem kincir angin terdapat 2 jenis *brake* yang digunakan, yaitu dari segi mekanis dan dari segi elektrik yang di beri *brake*. Untuk yang diterapkan di PLTH Pandansimo ini adalah menggunakan *brake* di sistem elektrik, sehingga pada saat tegangan sudah mencapai maksimum yang disebabkan putaran kincir angin yang semakin tinggi pula, maka sensor atau relay akan mengintruksikan sistem untuk memfungsikan *brake*, sehingga putaran turbin dapat diturunkan.

4. *Controler* (alat pengontrol)

Alat pengontrol ini berfungsi mengontrol semua system kelistrikan pada kincir angin agar berfungsi sebagaimana.

5. *Gear box* (roda gigi)

Peralatan ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir angin menjadi putaran tinggi. Namun pada PLTH Pandansimo tidak menggunakan *gear box* sehingga putaran turbin langsung diteruskan ke generator

6. Generator

Generator adalah bagian yang berfungsi untuk merubah energi kinetik menjadi energi listrik.

7. *Nacelle* (rumah mesin)

Peralatan ini berfungsi sebagai pelindung dari komponen – komponen mekanik turbin angin

8. Sudut bilah kipas

Sistem ini mengendalikan *pitch* atau jarak dari mata pisau untuk mendapatkan sudut optimal pada kecepatan yang di inginkan.

9. Rotor

Merupakan bagian dari rotor yang berfungsi menghubungkan sudu dengan shaft (poros) utama

10. Tower

Menara merupakan tiang penyangga yang fungsi utamanya adalah untuk menopang rotor , nasek dan semua komponen turbin angin yang berada di atasnya. Menara dapat berupa tipe latis (*lattice*) atau pipa (tubular) , baik yang dibantu dengan penopang tali pancang maupun yang *self supporting*.

2.2.2 Modul Lab-Volt Solar/Wind Enegy Training System 46801-J0

Modul Lab-Volt *Solar/Wind Enegy Training System* terdiri dari rangka baja yang kokoh dan dilas yang dicat menggunakan cat berlapis bubuk untuk permukaan

yang tahan lama. Unit dipasang pada empat kastor putar dengan mekanisme penguncian yang memungkinkan gerakan mudah dan operasi yang stabil. Workstation mencakup dua permukaan kerja berlubang untuk modul instalasi dan operasi. Gambar 2.3 dan 2.4 merupakan tampak tampilan dari modul Lab-Volt Solar/Wind Energy Training System 46801-J0.



Gambar 2. 2 Rangka Modul *Lab-Volt Solar/Wind Energy Training System 46801-J0*
(Sumber : datasheet Solar/Wind Energi Training System Model 46120)



Gambar 2. 3 Generator dan Motor DC pada modul *Lab-Volt Solar/Wind Energy Training System 46801-J0* (Sumber : datasheet Solar/Wind Energi Training System Model 46120).

Adapun spesifikasi dari modul ini terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Generator Modul PLTB

Parameter	Value
<i>Nominal Voltage</i>	12 V
<i>Maximum Power</i>	360 W
<i>Maximum Power Voltage</i>	18,3 V
<i>Maximum Power Current</i>	33.3 A
<i>Short circuit current</i>	5.38 A
<i>Open circuit current</i>	22.2 V
<i>Efficiency</i>	13.27%

Tabel 2. 3 Spesifikasi Motor DC Modul PLTB

Tipe	<i>Permanent-Magnet</i>
Kecepatan Putar Motor	1800 RPM
Hp	1/6
<i>Voltage</i>	180 VDC

2.2.3 DC-DC Boost Converter

Converter adalah suatu alat untuk mengkonversikan daya listrik dari satu bentuk ke bentuk daya listrik lainnya.

Converter terbagi menjadi 5 jenis:

- Konverter AC – DC (*Rectifier*)
- Konverter AC – AC (*Cycloconverter*)
- Converter DC – DC (*DC Chopper*)
- Konverter DC – AC (*Inverter*)

- Penyearah: rangkaian penyearah diode mengubah tegangan ac ke tegangan dc tetap. Tegangan masukan ke penyearah dapat bersifat satu fasa ataupun tiga fasa.

a. Converter AC-DC (*Rectifier*)

Rectifier adalah suatu bagian dari pengatur kecepatan dengan frekuensi variabel dimana fungsi dari rectifier ini adalah sebagai penyearah tegangan AC 3 fasa yang memiliki frekuensi jala-jala 50 Hz. Dibawah ini adalah gambar rangkaian dari sebuah *rectifier* 3 fasa gelombang penuh :

Bentuk tegangan keluarannya dapat dilihat pada gambar b, pada penyearah ini, proses konversi dari tegangan AC ke DC masih kurang sempurna, , oleh karena itu maka dipasang komponen L dan C pada penyearah tersebut agar tegangan DC yang dihasilkan makin baik dengan *factor ripple* sangat kecil. Nilai rata – rata dari tegangan output dapat dikendalikan dengan mengubah – ubah conduction time dari thyristor satu sudut firing delay, α . Inputnya dapat berupa sumber satu atau tiga fasa. Converter – converter ini juga dikenal sebagai penyearah control.

b. Konverter AC-AC (*Cycloconverter*)

Cycloconverter adalah rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah gelombang masukan AC dengan frekuensi tertentu ke gelombang keluaran AC dengan frekuensi yang berbeda. Pada Figure 1(a) dapat dilihat rangkaian daya cycloconverter satu fasa. Untuk lebih mudah memahami kerja rangkaian ini sehingga dapat menurunkan frekuensi sumber adalah dengan cara membagi topologi ini menjadi 2 buah rangkaian konverter thyristor-P dan rangkaian konverter thyristor-N yang bekerja secara bergantian. Konverter thyristor-P bekerja untuk

membentuk arus keluaran pada saat periode positif-nya, sedangkan konverter thyristor-N bekerja setelahnya untuk membentuk arus keluaran pada periode negatif arus keluaran. Prinsip kerja dari *converter* AC-AC terlihat pada gambar 2.4.

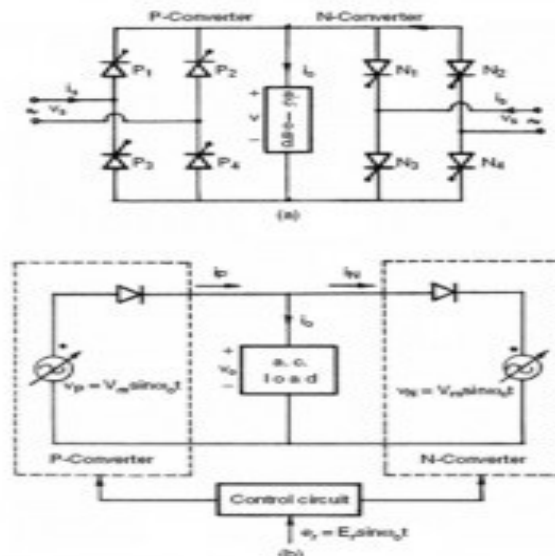


Figure 1 (a) Rangkaian Daya Single Phase Bridge Cycloconverter (b) Rangkaian Ekwivalen pengganti Cycloconverter

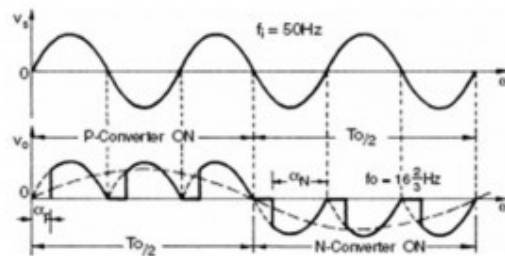


Figure 2. Gelombang masukan dan keluaran cycloconverter dari frekuensi 50-16.67 Hz dengan beban RL

Gambar 2. 4 Converter AC ke AC (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

Converter ini digunakan untuk memperoleh tegangan keluaran ac variable dari sumber ac tetap dan converter satu fasa dengan suatu TRIAC. Tegangan keluaran dikendalikan dengan mengubah – ubah conduction time dari TRIAC atau sudut delay penyalan, α . Tipe converter ini dikenal juga sebagai controller tegangan ac.

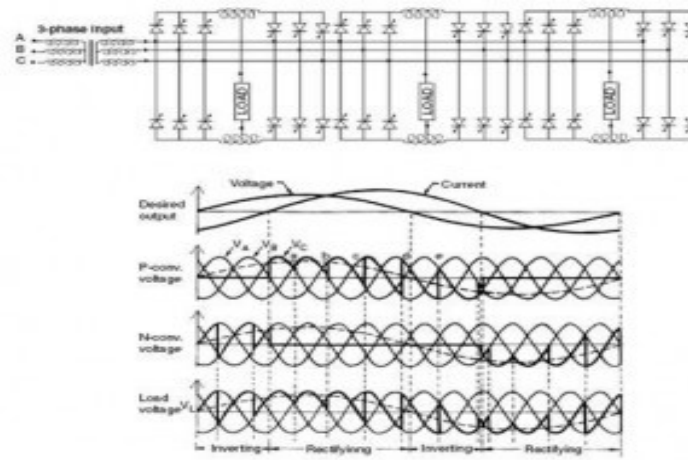


Figure 5. Cycloconverter Tiga Phasa

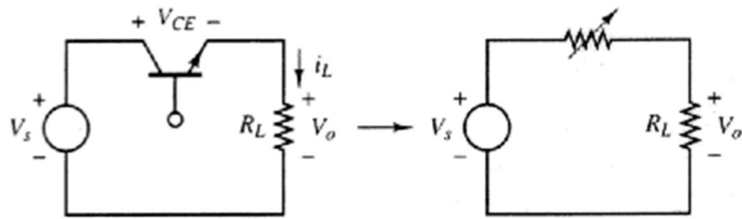
Gambar 2. 5 Converter 3 Phasa (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

c. Konverter DC-DC (*Chopper*)

Pengubah daya DC-DC (DC-DC Converter) tipe peralihan atau dikenal juga dengan sebutan *DC Chopper* dimanfaatkan terutama untuk penyediaan tegangan keluaran DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan pada beban. Daya masukan dari proses DC-DC tersebut adalah berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Pada dasarnya, penghasilan tegangan keluaran DC yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut tidak lain adalah *switch* (*solid state electronic switch*) seperti misalnya *Thyristor*, MOSFET, IGBT, GTO. Secara umum ada dua fungsi pengoperasian dari DC *Chopper* yaitu penaikan tegangan dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih tinggi dari tegangan masukan, dan penurunan tegangan dimana tegangan keluaran lebih rendah dari tegangan masukan.

Prinsip dasar Pengubah DC-DC Tipe Peralihan

Untuk lebih memahami keuntungan dari tipe peralihan, kita lihat kembali prinsip pengubahan daya DC-DC tipe linier seperti terlihat pada Gambar 2.6.

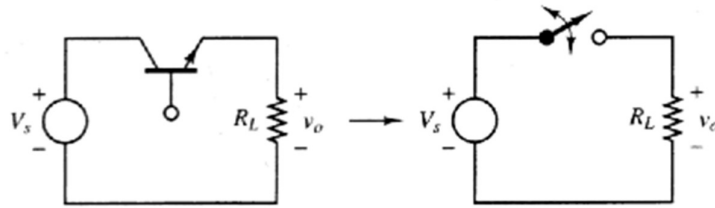


Gambar 2. 6 Pengubah tipe linier (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

Pada tipe linier, pengaturan tegangan keluaran dicapai dengan menyesuaikan arus pada beban yang besarnya tergantung dari besar arus pada *base*-nya transistor:

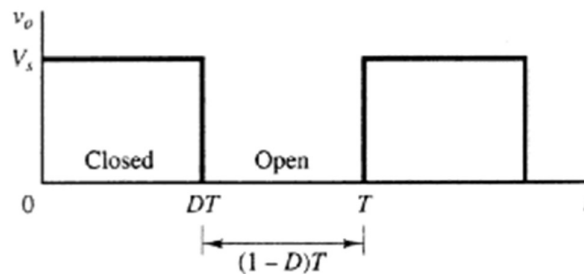
$$V_o = I_L \cdot R_L \quad (1)$$

Dengan demikian pada tipe linier, fungsi transistor menyerupai tahanan yang dapat diubah ubah besarnya seperti yang juga terlihat dalam Gambar 1. Lebih jauh lagi, transistor yang digunakan hanya dapat dioperasikan pada batasan liniernya (linear region) dan tidak melebihi batasan *cutoff* dan selebihnya (*saturation region*). Maka dari itu tipe ini dikenal dengan tipe linier. Walau tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati pada aplikasi daya karena tingginya daya yang hilang (*power loss*) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi. Sebagai alternatif, maka muncul tipe peralihan yang pada prinsipnya dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Pengubah tipe peralihan (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

Pada tipe peralihan, terlihat fungsi transistor sebagai *electronic switch* yang dapat dibuka (*off*) dan ditutup (*on*). Dengan asumsi bahwa *switch* tersebut ideal, jika *switch* ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika *switch* dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Tegangan keluaran

Besaran rata rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_{in} dt = V_{in} D \quad (2)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai *Duty ratio* yaitu rasio antara lamanya waktu *switch* ditutup (t_{on}) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran, atau (lihat Gambar 2.8):

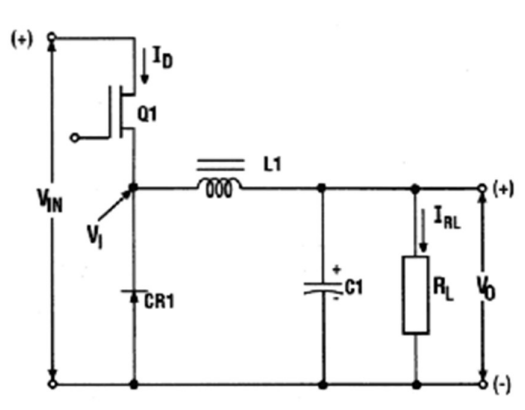
$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on}f \quad (3)$$

dengan $0 \leq D \leq 1$. Parameter f adalah frekuensi peralihan (*switching frequency*) yang digunakan dalam mengoperasikan *switch*. Berbeda dengan tipe linier, pada tipe peralihan tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai *switch*. Ini dimungkinkan karena pada waktu *switch* ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu *switch* dibuka, tidak ada arus listrik mengalir. Ini berarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun perlu diingat pada prakteknya, tidak ada *switch* yang ideal, sehingga akan tetap ada daya yang hilang sekecil apapun pada komponen *switch* dan efisiensinya walaupun sangat tinggi, tidak akan pernah mencapai 100%.

Pengubah Buck

Gambar 2.7 menunjukkan rangkaian dasar dalam metoda *Buck*. Dalam metoda ini, tegangan keluaran akan lebih rendah atau sama dengan tegangan masukan. Disamping itu, jika pada pengoperasiannya arus yang mengalir melalui induktor selalu lebih besar dari nol (CCM – *Continuous Conduction Mode*), maka hubungan antara tegangan keluaran dengan tegangan masukan adalah sebagai berikut:

$$V_0 = D \cdot V_{in} \quad (4)$$



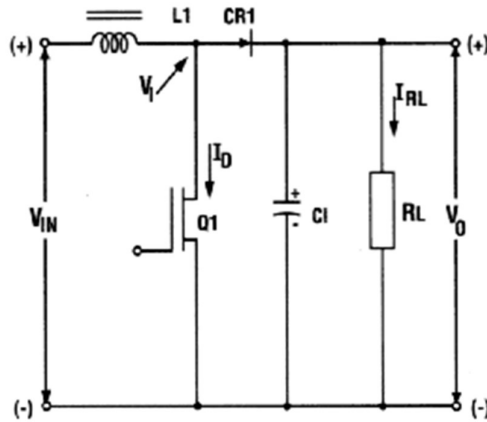
Gambar 2. 9 Pengubah Buck

Gambar 2.9 merupakan rangkaian dasar pengubah *Buck*. Keuntungan pada konfigurasi *Buck* antara lain adalah efisiensi yang tinggi, rangkaiannya sederhana, tidak memerlukan transformer, tingkatan *stress* pada komponen *switch* yang rendah, riak (*ripple*) pada tegangan keluaran juga rendah sehingga penyangkutan atau filter yang dibutuhkan pun relatif kecil. Kekurangan yang ditemukan misalnya adalah tidak adanya isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkat *ripple* yang tinggi pada arus masukan. Metoda *Buck* sering digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sistem yang berukuran kecil.

Pengubah Boost

Jika tegangan keluaran yang diinginkan lebih besar dari tegangan masukan, maka rangkaian *Boost* dapat dipakai. Topologi *Boost* terlihat pada Gambar 2.8. Pada operasi CCM, tegangan keluaran dan tegangan masukan diekspresikan

$$V_o = \frac{V_{in}}{(1-D)} \quad (5)$$



Gambar 2. 10 Pengubah Boost (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

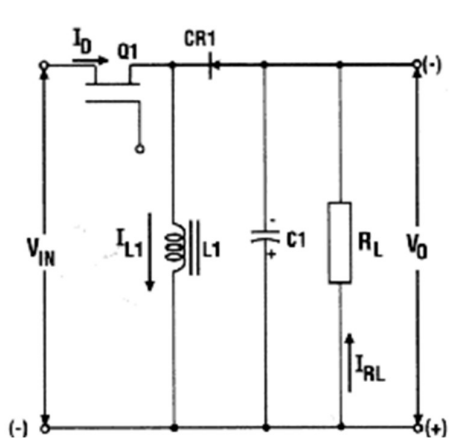
Gambar 2.10 merupakan rangkaian pengubah *Boost*. *Boost* juga memiliki efisiensi tinggi, rangkaian sederhana, tanpa transformer dan tingkat *ripple* yang rendah pada arus masukan. Namun juga *Boost* tidak memiliki isolasi antara masukan dan keluaran, hanya satu keluaran yang dihasilkan, dan tingkatan *ripple* yang tinggi pada tegangan keluaran. Aplikasi *Boost* mencakup misalnya untuk perbaikan faktor daya (*Power Factor*), dan untuk penaikan tegangan pada baterai

Pengubah Buck-Boost

Metoda *Buck-Boost* tidak lain adalah kombinasi antara *Buck* dan *Boost*, seperti terlihat pada Gambar 2.9, dimana tegangan keluaran dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Dalam operasi CCM, persamaan

tegangan yang dipakai adalah:

$$V_o = -\frac{D}{(1-D)} V_{in} \quad (6)$$



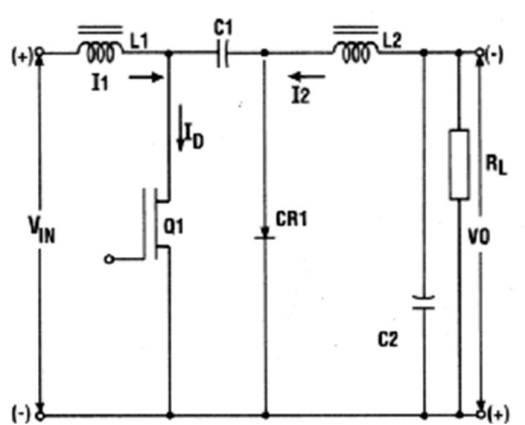
Gambar 2. 11 Pengubah Buck-Boost

Gambar 2.11 merupakan rangkaian dasar dari pengubah *Buck Boost* .Yang menarik untuk dicatat dari *Buck-Boost* adalah bahwa tegangan keluaran memiliki tanda berlawanan dengan tegangan masukan. Oleh karena itu metode ini pun ditemui pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (*voltage inversion*) tanpa *transformer*. Walaupun memiliki rangkaian sederhana, metoda *Buck-Boost* memiliki kekurangan seperti tidak adanya isolasi antara sisi masukan dan keluaran, dan juga tingkat *ripple* yang tinggi pada tegangan keluaran maupun arus keluaran.

Pengubah *Boost-Buck* atau Cuk

Cara lain untuk mengkombinasikan metoda *Buck* dan *Boost* dapat dilihat pada Gambar 2.10 dan dikenal dengan nama *Boost-Buck* atau Cuk. Seperti halnya metoda *Buck-Boost*, tegangan keluaran yang dihasilkan dapat diatur menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan masukan. Persamaan tegangan yang berlaku pada CCM pun sama dengan *Buck-Boost* (persamaan 6). Metoda Cuk juga digunakan pada aplikasi yang memerlukan pembalikan tegangan (*voltage inversion*) tanpa *transformer*, namun dengan kelebihan tingkat *ripple* yang rendah

pada arus masukan maupun arus keluaran. Adapun rangkaian dasar dari pengubah cuk terlihat pada gambar 2.12 berikut ini.



Gambar 2. 12 Pengubah Cuk (Sumber : <http://blog.ub.ac.id>)

2.2.4 Arduino

Arduino menurut situs resminya di www.arduino.cc didefinisikan sebagai sebuah platform elektronik terbuka (*open source*), berbasis pada *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan, yang ditujukan untuk para seniman, desainer, hobbies, dan setiap orang yang tertarik dalam membuat obyek atau lingkungan yang interaktif.

Menurut Massimo Banzi dalam bukunya “*Getting Started with Arduino*”, arduino didefinisikan sebagai sebuah platform komputasi fisik (*Physical Computing*) yang *open source*, yang tedapat pada *board* input output sederhana. Platform komputasi fisik sendiri mempunyai makna yang berarti sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi yang ada di dunia nyata.

Nama Arduino tidak hanya dipakai untuk menamai *board* rangkaiannya saja, tetapi juga untuk menamai bahasa dan *software* pemrogramannya, serta

lingkungan pemrograman atau IDE-nya, *Integrated Development Environment*. Rangkaian dasar dari arduino terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 rangkaian arduino uno (Sumber: elektronika, 2016)

2.2.5 Sensor

Sensor adalah alat untuk mendeteksi / mengukur sesuatu yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor itu sendiri terdiri dari transduser dengan atau tanpa penguat/pengolah sinyal yang terbentuk dalam satu sistem pengindera. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh controller sebagai otaknya.

a. Sensor Tegangan

Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan *input* berkurang hingga 5 kali

dari tegangan asli. Bentuk modul sensor tegangan seperti ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut :



Gambar 2. 14 Modul sensor tegangan (Sumber : Rizal Fachri Arduino Power Elektronik, 2017)

Fitur-fitur dan kelebihanya

- Variasi Tegangan masukan:: DC 0 – 25 V
- Deteksi tegangan dengan jangkauan: DC 0.02445 V – 25 V
- Tegangan resolusi analog: 0,00489 V
- Tegangan DC masukan antarmuka: terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND
- *Output Interface*: “+” Koneksi 5 / 3.3V, “-“ terhubung GND, “s” terhubung Arduino pin A0
- DC antarmuka masukan: *red* terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND

Prinsip kerja modul sensor tegangan ini dapat membuat tegangan input mengurangi 5 kali dari tegangan asli. Sehingga, sensor hanya mampu membaca tegangan maksimal 25 V bila diinginkan Arduino analog *input* dengan tegangan 5

V, dan jika untuk tegangan 3,3 V, tegangan *input* harus tidak lebih dari 16.5 V. Pada dasarnya pembacaan sensor hanya dirubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023, karena *chip Arduino AVR* memiliki 10 bit, jadi resolusi simulasi modul 0,00489 V yaitu dari (5 V / 1023), dan tegangan *input* dari modul ini harus lebih dari 0,00489 V x 5 = 0,02445 V. Sehingga dapat dirumuskan seperti persamaan berikut :

$$\text{Volt} = ((V_{\text{out}} \times 0.00489) \times 5) \quad (8)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat

Dalam penelitian ini digunakan beberapa alat untuk mendukung pe, antara lain:

3.1.1 Kabel Data

3.1.2 Laptop

Dalam penelitian ini digunakan Laptop dengan merk ACER RAM 2GB dan Memori 500GB AMD A4 untuk mensimulasikan *converter* yang akan dibuat serta untuk membuat sistem kontrol yang digunakan.

3.1.3 *Software Diptrace*

Diptarce adalah salah satu aplikasi komputer yang digunakan untuk membuat desain PCB. Dalam penelitian ini digunakan untuk membuat desain PCB *converter*.

3.1.4 *Software PSIM dan Proteus*

Untuk mensimulasikan *converter* dan sistem control yang digunakan diperlukan *software-software* yang mendukung. Dalam hal ini peneliti menggunakan *software* PSIM dan Proteus.

3.1.5 Tang

3.1.6 Obeng Set

3.1.7 Bor

3.1.8 Solder

3.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

3.2.1 Modul Praktikum PLTB

Modul PLTB merupakan komponen utama dalam penelitian ini, modul ini digunakan sebagai *input* simulasi dari PLTB. Adapun tampilan modul PLTB tampak pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Solar/Wind Energi Training System (Sumber : pribadi (27 Januari 2020))

3.2.2 Baterai

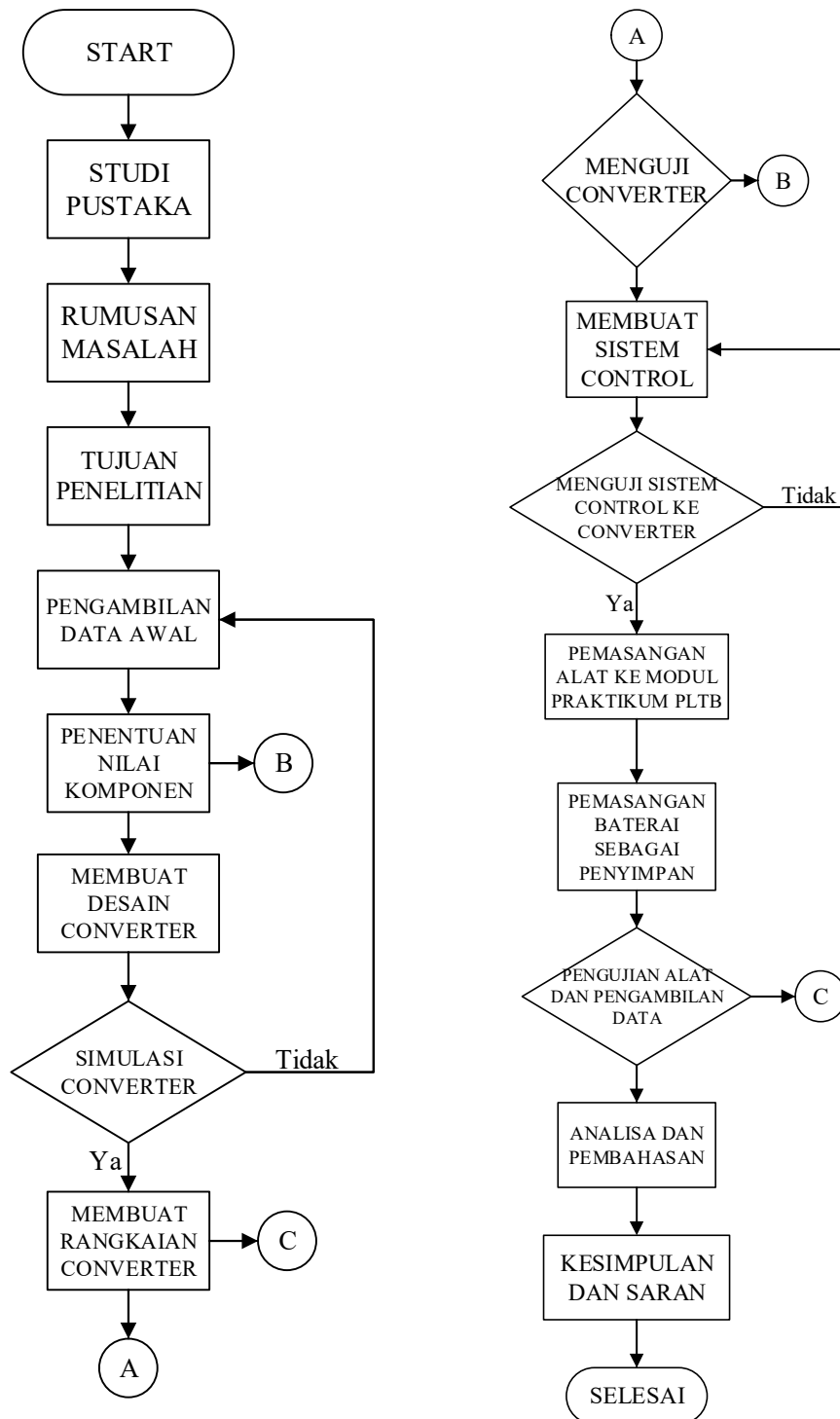
Dalam penelitian ini baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin.

3.2.3. Mikrokontroller

Mikrokontroller digunakan untuk menanamkan program yang digunakan untuk sistem pengontrolan *converter*.

3.3 Cara Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, maka dilakukan tahap-tahap yang akan dilakukan agar terstruktur sesuai rencana. Adapun tahap-tahap penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

a. Mulai

Mulai, merupakan langkah awal dalam penelitian untuk menentukan aliran penelitian ini.

b. Studi Pustaka

Dalam langkah ini, peneliti melakukan studi pustaka dari beberapa jurnal maupun *paper* yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), *converter*, dan sistem pengisian baterai.

c. Rumusan Masalah

Dalam hal ini peneliti melakukan perumusan masalah-masalah yang ada berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

d. Tujuan Penelitian

Menentukan tujuan-tujuan dari penelitian yang dilakukan.

e. Pengambilan Data Awal

Pengambilan data dilakukan sebelum melakukan penelitian, data ini digunakan sebagai referensi dalam pembuatan alat.

f. Penentuan Nilai Komponen

Penentuan nilai komponen dilakukan dengan cara melakukan perhitungan dari rumus-rumus yang ada dalam pembuatan *converter*.

g. Membuat Desain *Converter*

Pembuatan desain *converter* dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Diptrace*. Kemudian dibuat di papan PCB sebagai tempat komponen.

h. Membuat Simulasi *Converter*

Sebelum dibuat *hardware* nya, *converter* mula-mula disimulasikan menggunakan aplikasi PSIM dan MATLAB.

i. Membuat Sistem Kontrol

Setelah membuat *converter*, selanjutnya dibuat system control dengan *Adaptive Fuzzy* yang ditanamkan ke dalam mikrokontroller.

j. Menguji Sistem Kontrol ke *Converter*

Pada step ini, peneliti melakukan uji coba sistem kontrol yang telah dibuat untuk mengontrol *converter*.

k. Pemasangan Baterai sebagai Media Penyimpan

Selanjutnya dilakukan pemasangan baterai sebagai penyimpan energi listrik.

l. Pengujian Alat pada Modul

Setelah semua step dilakukan, maka diuji dimodul yang digunakan. Kemudian dilakukan pengambilan data yang akan dianalisa dan disimpulkan hasil dari penelitian.

m. Selesai

Penelitian dianggap selesai apabila semua step telah dilaksanakan.

3.3.1 Studi Kepustakaan

Pada tahap ini, penulis melakukan studi literatur dengan mengumpulkan jurnal dan mengkajinya. Selain itu untuk melengkapi penelitian ini penulis mencari teori-teori mengenai perancangan rangkaian *Converter* dan kendali *Adaptive Fuzzy*.

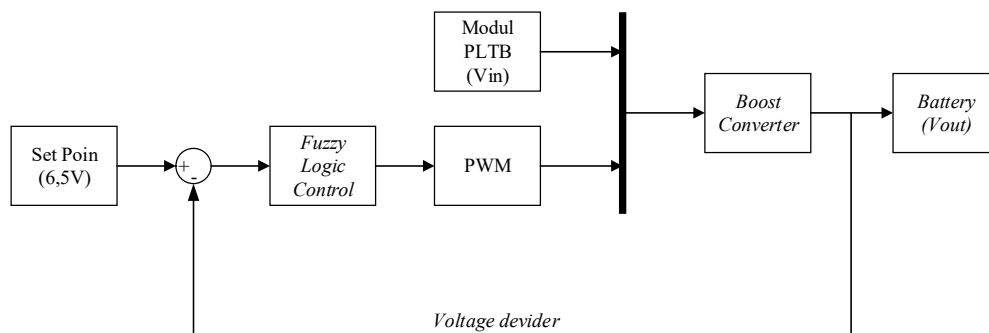
3.3.2 Perancangan Sistem

Dalam bagian ini pada perancangan sistem untuk rangkaian *Converter* dengan kendali *adaptive Fuzzy*, dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut :

1. Pembuatan diagram blok sistem *Converter*;
2. Merancang komponen rangkaian *Converter*;
3. Mensimulasikan rangkaian *Converter* pada PSIM dan *Proteus*;
4. Menguji rangkaian *Converter* dengan system control *Adaptive Fuzzy*.

3.3 Diagram Blok

Gambar diagram blok dari sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah terlihat pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem Penelitian

Gambar tersebut menunjukkan diagram blok system penelitian dengan angin yang dibaratkan oleh putaran motor DC pada modul PLTB sebagai sumber energi yang akan memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Dalam penelitian ini digunakan modul praktikum yang ada di laboratorium distribusi jurusan Teknik Elektro, dimana generator akan diputar oleh sebuah motor sebagai simulasi putaran turbin. Kemudian energi yang dihasilkan oleh generator akan diterima dan diolah oleh *converter* yang telah dibuat. *Converter* yang dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol *Adaptive Fuzzy* akan menyesuaikan level tegangan dari generator untuk mengisi baterai sebagai media penyimpanan energi. Sebelum dibuat hardwarenya, mula-mula *converter* diuji coba terlebih dahulu dengan *software* PSIM dan *Proteus* dimana nilai-nilai komponen yang digunakan dihitung terlebih dahulu berdasarkan data awal yang diambil sebelumnya.

3.4 Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Distribusi Jurusan Teknik Elektro dengan menggunakan modul *wind turbin* dengan memvariasi kecepatan motor.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Desain Rangkaian *Boost Converter*

Hasil penelitian dengan judul “Rancang Bangun DC-DC *Converter* Terkendali Dalam Sistem Pengisian Baterai Pada Modul Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Berbasis *Adaptive Fuzzy*” dapat disajikan secara fisik berupa alat, simulasi, maupun analisis data.

Dalam penelitian ini, peneliti mendesain sebuah *boost converter* yang *output*-nya dapat mengisi baterai (*accu*) 6V. Untuk mendesain *boost converter* terdapat beberapa parameter yang telah ditentukan terlebih dahulu, parameter tersebut terdapat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Parameter Boost Converter

Parameter	Nilai	Satuan
Vin min	2	Volt
Vin max	5	Volt
Vout	6,5	Volt
P out (Po)	27	Watt
Frekuensi (f)	45000	Hz
ΔV	5%	-
ΔI_L	20%	-

- a. Menentukan nilai *Duty Cycle* :

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{(1 - D)}$$

$$6,5 = \frac{2}{(1 - D)}$$

$$6,5 - 6,5D = 2$$

$$6,5 - 2 = 6,5D$$

$$4,5 = 6,5D$$

$$D = 0,69$$

Duty Cycle memiliki *range* operasi, yaitu :

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in\ min}} = \frac{6,5}{6,5 + 2} = 0,76$$

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{out} + V_{in\ max}} = \frac{6,5}{6,5 + 5} = 0,561$$

- b. Menentukan nilai L (*Inductor*)

$$I_L = I_{in}$$

$$I_L = \frac{P_o}{V_i} = \frac{27}{2} = 13,5\ A$$

$$\Delta I_L = 20\% \times 13,5A = 2,7A$$

$$L = \frac{V_i \times D}{\Delta I_L \times f} = \frac{2 \times 0,69}{2,7 \times 45000}$$

$$L = \frac{1,38}{121500} = 0,0511 \times 10^{-3}H = 0,0511\ mH$$

c. Menentukan Nilai C (*Capasitor*)

$$\Delta V = 5\% \times 6,5V = 0,325$$

$$i = \frac{Po}{Vout} = \frac{27}{6,5} = 4,15$$

$$C = \frac{ixD}{\Delta Vxf} = \frac{4,15 \times 0,69}{0,325 \times 45000}$$

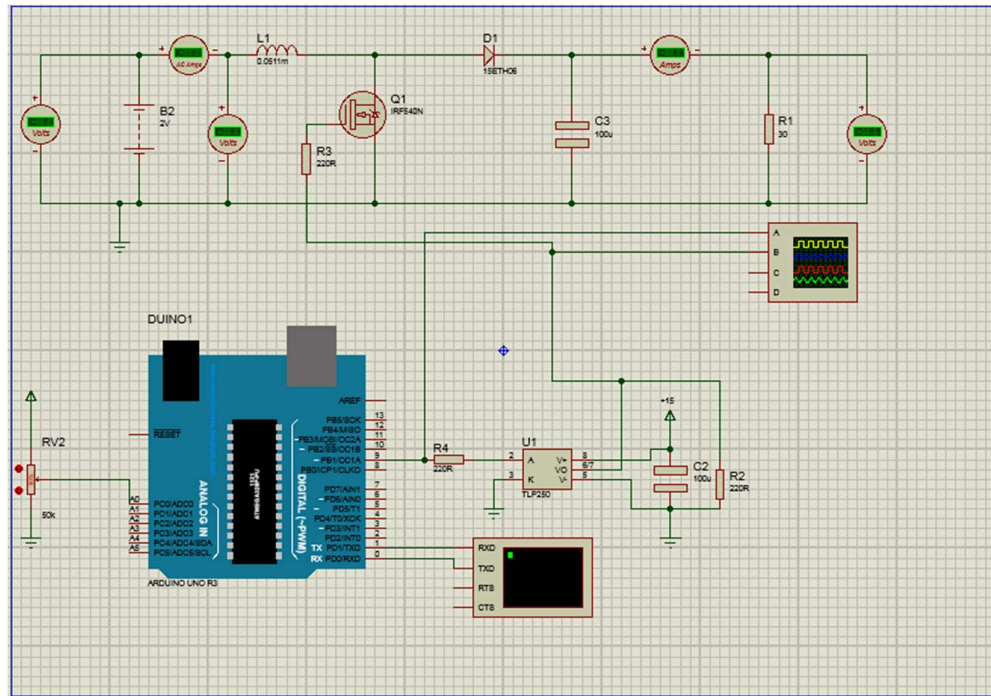
$$C = \frac{2,8661}{14625} = 2,5875 \times 10^{-4}F = 0,25875mF$$

Dari perhitungan tersebut, maka didapat parameter *boost converter* yang ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Parameter Boost Converter

Parameter	Nilai	Satuan
Vin min	2	Volt
Vin max	5	Volt
Vout	6,5	Volt
P out (Po)	27	Watt
Frekuensi (f)	45000	Hz
ΔV	5%	-
ΔI_L	20%	-
L	0,0511	mH
C	0,25875	mF
D	0,69	-

Adapun rangkaian *boost converter* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tampak pada gambar 4.1.



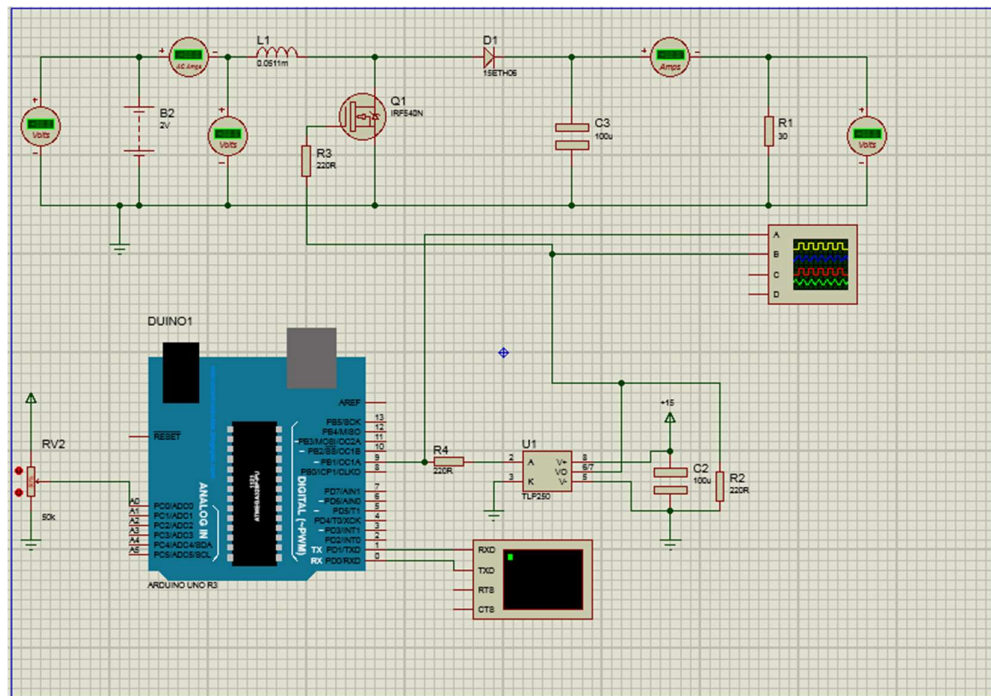
Gambar 4. 1 Rangkaian Boost Converter

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan baterai aki sebagai penyimpanan *output* dari *converter*. Adapun spesifikasi baterai yang digunakan ditampilkan pada tabel 4.3.

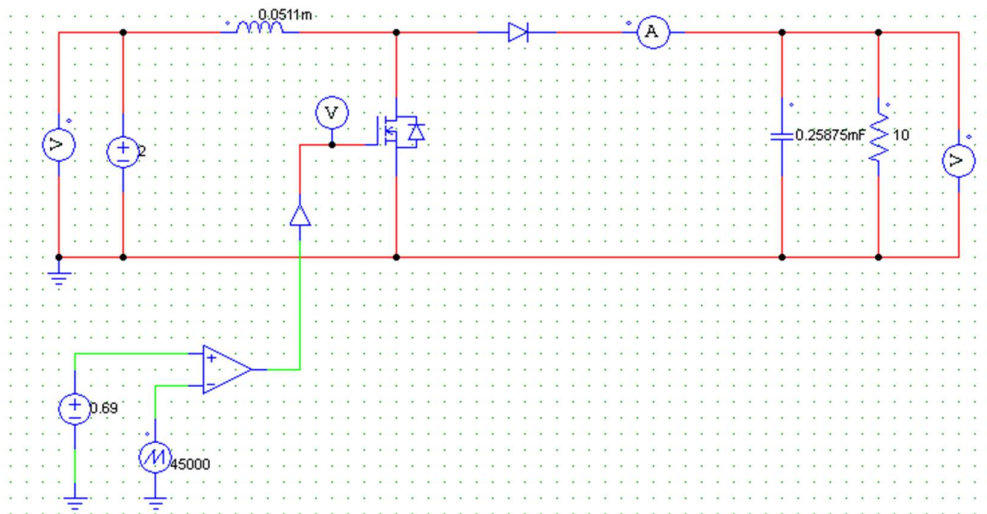
Tabel 4. 3 Spesifikasi Baterai (Accu)

Model LCRO64R5NA	
I (Kuat Arus per jam atau AH)	4,5 AH
V (Tegangan baterai atau V)	6V
P (daya per jam atau Wh)	27 Wh
P (daya 80% daya max)	21,6 WH

Setelah melakukan penentuan nilai komponen, kemudian peneliti mulai merakit komponen menjadi rangkaian *boost converter*. Namun sebelum merangkai secara fisik, terlebih dahulu peneliti melakukan simulasi rangkaian menggunakan aplikasi PSIM dan *Proteus* untuk memastikan bahwa rangkaian dapat bekerja. Adapun rangkaian simulasi yang dibuat terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Gambar rangkaian simulasi menggunakan Proteus



Gambar 4. 3 Simulasi rangkaian menggunakan PSIM

Setelah melakukan simulasi dan rangkaian telah berjalan dengan baik, kemudian peneliti membuat rangkaian *boost converter* dengan papan PCB yang didesain menggunakan aplikasi *Diptrace*. Adapun rangkaian *boost converter* yang dibuat terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Rangkaian Boost Converter

4.1.2 Pengujian Alat

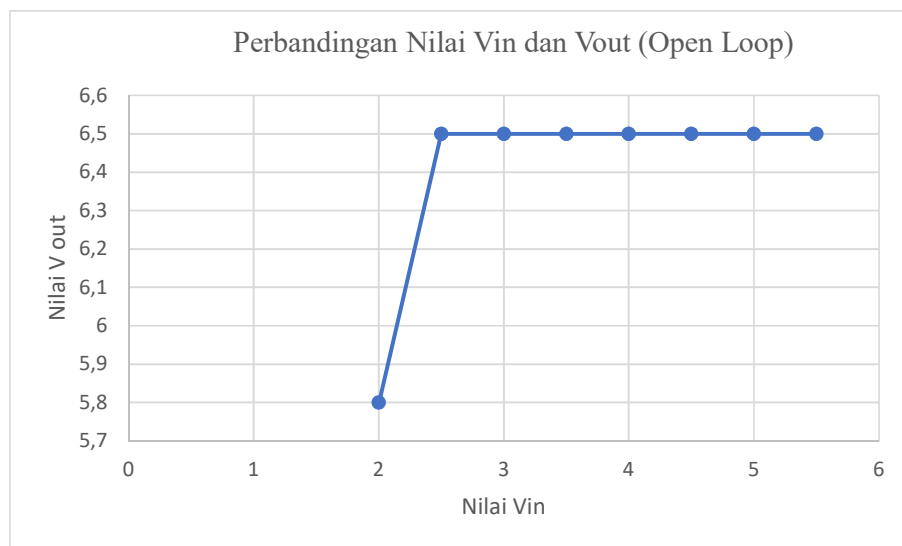
Untuk memastikan rangkaian yang dibuat sudah benar dan berfungsi dengan baik, maka perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian yang dilakukan diantaranya dengan cara memasukkan tegangan DC ke *input boost converter*, kemudian dilakukan pengecekan apakah ada komponen yang panas atau tidak berfungsi. Setelah dipastikan semua komponen baik-baik saja, selanjutnya dilakukan beberapa pengujian, antara lain:

1) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resitif Dan Sumber Tegangan DC *Power Supply (Open Loop)*

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif 100 ohm dan sumber tegangan *input power supply* dari 2V-5V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* dapat diatur secara manual menggunakan potensiometer yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Open Loop* atau tanpa metode. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Open Loop)

No.	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	2	100	69	5,8	0,05	0,25	0,5	0,290	58
2	2,5	100	62	6,5	0,06	0,251	0,6275	0,39	62,1514
3	3	100	49	6,5	0,06	0,21	0,63	0,39	61,9048
4	3,5	100	46	6,5	0,06	0,192	0,672	0,39	58,0357
5	4	100	37	6,5	0,06	0,169	0,676	0,39	57,6923
6	4,5	100	30	6,5	0,06	0,148	0,666	0,39	58,5586
7	5	100	19	6,5	0,06	0,113	0,565	0,39	69,0265
8	5,5	100	15	6,5	0,06	0,103	0,5665	0,39	68,8438



Gambar 4. 5 Kurva Perubahan nilai antara Vin dan Vout

Pada gambar 4.5 ditunjukkan kurva perubahan nilai Vin dari 2V-5V, dimana Vout dari *Boost converter* berada di tegangan 6,5V ketika Vin bernilai 2,5V. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 61,77%.

2) Pengujian *Boost Converter* menggunakan Beban Resitif Berubah-ubah dan Sumber Tegangan DC *Power Supply* Tetap (*Open Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif dari 100 Ohm-20 Ohm dan sumber tegangan *input power supply* konstan 2V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* dapat diatur secara manual menggunakan potensiometer yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Open Loop* atau tanpa metode. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Dengan Beban Resistif Berubah-ubah 100-20 Ohm dan Tegangan Input Tetap (Open Loop)

No.	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	2	100	73	6,5	0,06	0,319	0,638	0,39	61,1285
2	2	90	75	6,5	0,07	0,381	0,762	0,455	59,7113
3	2	80	75	6,5	0,08	0,421	0,842	0,52	61,7577
4	2	70	75	6,5	0,09	0,472	0,944	0,585	61,9703
5	2	60	75	6,5	0,1	0,543	1,086	0,65	59,8527
6	2	50	76	6,5	0,14	0,702	1,404	0,91	64,8148
7	2	40	76	6,5	0,16	0,843	1,686	1,04	61,6845
8	2	30	78	6,5	0,25	1,409	2,818	1,625	57,665
9	2	20	78	5,6	0,32	1,649	3,298	1,792	54,336



Gambar 4. 6 Kurva Perbandingan Nilai V_{in} dan Perubahan Nilai Beban

Pada gambar 4.6 ditunjukkan kurva perubahan nilai beban resistif dari 20 Ohm-100 Ohm, dimana nilai masukan V_{in} yang diberikan adalah tetap 2V. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* tetap di 6,5V, namun mengalami penurunan tegangan menjadi 5,6V ketika beban resistif bernilai 20 Ohm. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 60,32%.

Setelah rangkaian dianggap dapat bekerja normal secara manual atau *open loop*, selanjutnya dibuat program dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic Control*. Dalam tahap ini peneliti mendesain logika *fuzzy* yang berfungsi sebagai kontrol untuk mempertahankan tegangan *output Boost Converter* konstan 6,5V meskipun tegangan *input* berubah-ubah yang menandakan perubahan kecepatan angin di udara. Adapun desain logika *Fuzzy* peneliti adalah sebagai berikut:

A. Nilai *Membership Function*

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan 2 variabel *input*, yaitu *error* dan *delta error* (*derror*) serta 1 variabel *output*. Nilai *error* dan *derror* didapat dari rumus :

$$error = \frac{Sp - Vout}{Sp}$$

$$derror = error - derror$$

Dimana :

error = Nilai *member function fuzzy*

derror = Nilai *member function fuzzy*

Sp = *Set Point* (6,5V)

Berikut *member function* dari masing-masing variabel:

➤ Variabel **Error**

Adapun *member function* dari variabel *error* adalah :

$$1) \text{ Negatif Besar (NB)} = \begin{bmatrix} 1, error \leq 0,75 \\ \frac{0,5-error}{0,25}, -0,75 < error \leq 0,5 \\ 0, error > -0,5 \end{bmatrix}$$

$$2) \text{ Negatif Sedang (NS)} = \begin{bmatrix} 0, error \leq -0,75 \\ 0, error > -0,25 \\ \frac{0,5-error}{0,25}, 0,75 < error \leq -0,5 \\ \frac{-0,25-error}{0,25}, 0,5 < error \leq -0,25 \end{bmatrix}$$

$$3) \text{ Negatif Kecil (NK)} = \begin{bmatrix} 0, error \leq -0.5 \\ 0, error > 0 \\ \frac{error+0.5}{0.25}, -0.5 < error \leq -0.25 \\ \frac{0-error}{0.25}, -0.25 < error \leq 0 \end{bmatrix}$$

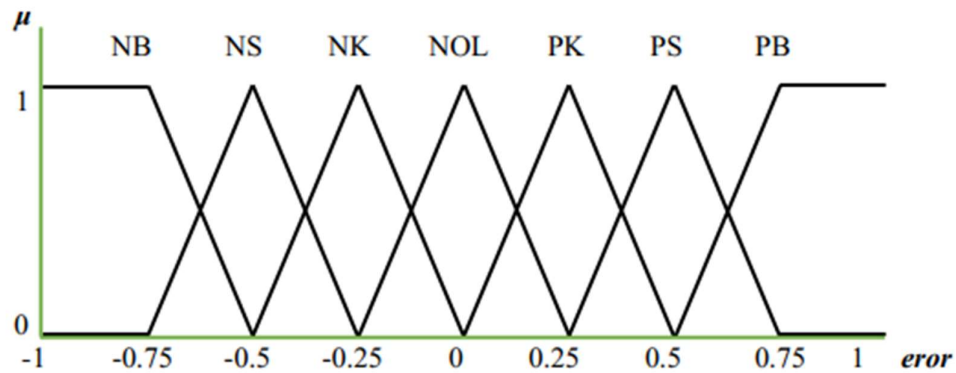
$$4) \text{ NOL} = \begin{bmatrix} 0, error \leq -0.25 \\ 0, error > 0 \\ \frac{error+0.25}{0.25}, 0.25 < error \leq 0.25 \\ \frac{0.25-error}{0.25}, 0 < error \leq 0.25 \end{bmatrix}$$

$$5) \text{ Positif Kecil (PK)} = \begin{bmatrix} 0, error \leq 0 \\ 0, error > 0.5 \\ \frac{error-0}{0.25}, 0 < error \leq 0.25 \\ \frac{0.5-error}{0.25}, 0.25 < error \leq 0.5 \end{bmatrix}$$

$$6) \text{ Positif Sedang (PS)} = \begin{bmatrix} 0, error \leq 0.25 \\ 0, error > 0.75 \\ \frac{error-0.25}{0.25}, 0.25 < error \leq 0.5 \\ \frac{0.75-error}{0.25}, 0.5 < error \leq 0.75 \end{bmatrix}$$

$$7) \text{ Positif Besar (PB)} = \begin{bmatrix} 1, error \leq 0.75 \\ \frac{error-0.5}{0.25}, 0.5 < error \leq 0.75 \\ 0, error > 0.75 \end{bmatrix}$$

Adapun konfigurasi dari *membership function* variabel *error* terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Membership Function variabel error

➤ Variabel **Delta Error (derror)**

Adapun *member function* dari variabel *derror* adalah :

$$1) \text{ Negatif Besar (NB)} = \begin{bmatrix} 1, derror \leq -0.75 \\ \frac{0.5-derror}{0.25}, -0.75 < derror \leq -0.5 \\ 0, derror > -0.5 \end{bmatrix}$$

$$2) \text{ Negatif Sedang (NS)} = \begin{bmatrix} 0, derror \leq -0.75 \\ \frac{0.5-derror}{0.25}, -0.75 < derror \leq -0.5 \\ \frac{-0.25-derror}{0.25}, -0.5 < derror \leq -0.25 \\ 0, derror > -0.25 \end{bmatrix}$$

$$3) \text{ Negatif Kecil (NK)} = \begin{bmatrix} 0, derror \leq -0.5 \\ \frac{derror+0.5}{0.25}, -0.5 < derror \leq -0.25 \\ \frac{0-derror}{0.25}, -0.25 < derror \leq 0 \\ 0, derror > 0 \end{bmatrix}$$

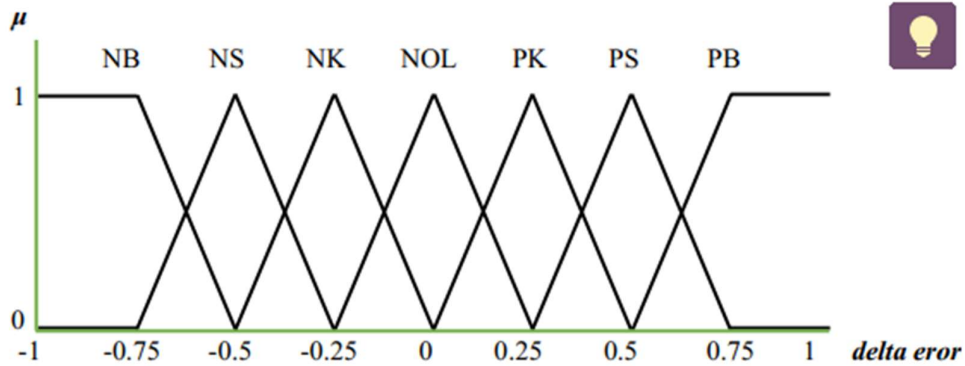
$$4) \text{ NOL} = \begin{bmatrix} 0, derror \leq -0.25 \\ \frac{derror+0.25}{0.25}, -0.25 < derror \leq 0 \\ \frac{0.25-derror}{0.25}, 0 < derror \leq 0.25 \\ 0, derror > 0.25 \end{bmatrix}$$

$$5) \text{ Positif Kecil (PK)} = \begin{bmatrix} 0, derror \leq 0 \\ 0, derror > 0.5 \\ \frac{derror-0}{0.25}, 0 < derror \leq 0.25 \\ \frac{0.5-derror}{0.25}, 0.25 < derror \leq 0.5 \end{bmatrix}$$

$$6) \text{ Positif Sedang (PS)} = \begin{bmatrix} 0, derror \leq 0.25 \\ 0, derror > 0.75 \\ \frac{derror-0.25}{0.25}, 0.25 < derror \leq 0.5 \\ \frac{0.75-derror}{0.25}, 0.5 < derror \leq 0.75 \end{bmatrix}$$

$$7) \text{ Positif Besar (PB)} = \begin{bmatrix} 1, derror \leq 0.75 \\ \frac{derror-0.5}{0.25}, 0.5 < derror \leq 0.75 \\ 0, derror > 0.5 \end{bmatrix}$$

Adapun konfigurasi dari *membership function* variabel *derror* terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Membership Function variabel *derror*

➤ Variabel *Duty* (*dduty*)

Adapun *member function* dari variabel *duty* adalah :

$$1) \text{ Negatif Besar (NB)} \begin{bmatrix} 1, dduty \leq -0.15 \\ \frac{-0.02-dduty}{0.13}, -0.15 < dduty \leq -0.02 \\ 0, dduty > -0.02 \end{bmatrix}$$

$$2) \text{ Negatif Sedang (NS)} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq -0.15 \\ 0, dduty > -0.002 \\ \frac{dduty+0.15}{0.13}, -0.15 < dduty \leq -0.002 \\ \frac{-0.002-dduty}{0.018}, -0.02 < dduty \leq -0.002 \end{array} \right]$$

$$3) \text{ Negatif Kecil (NK)} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq -0.002 \\ 0, dduty > 0 \\ \frac{dduty}{0.018}, -0.02 < dduty \leq -0.005 \\ \frac{0-dduty}{0.002}, -0.002 < dduty \leq 0 \end{array} \right]$$

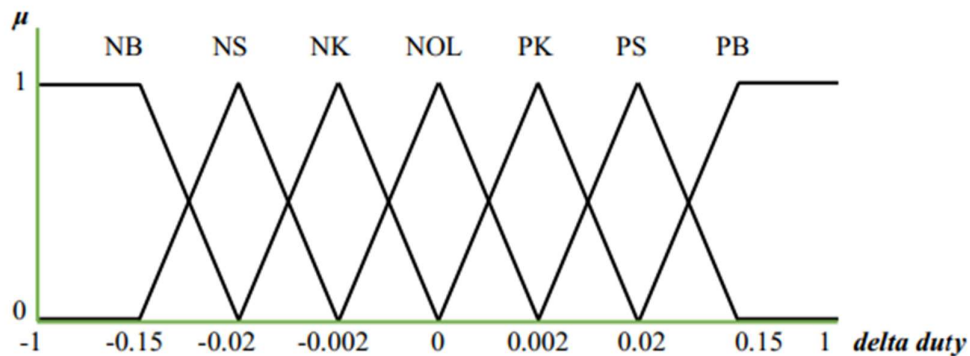
$$4) \text{ NOL} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq -0.002 \\ 0, dduty > 0.002 \\ \frac{dduty}{0.002}, -0.02 < dduty \leq 0 \\ \frac{0.002-dduty}{0.002}, 0 < dduty \leq 0.002 \end{array} \right]$$

$$5) \text{ Positif Kecil (PK)} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq 0 \\ 0, dduty > 0.02 \\ \frac{dduty}{0.02}, 0 < dduty \leq 0.002 \\ \frac{0.02-dduty}{0.18}, 0.002 < dduty \leq 0.02 \end{array} \right]$$

$$6) \text{ Positif Sedang (PS)} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq 0.002 \\ 0, dduty > 0.15 \\ \frac{dduty}{0.13}, 0.002 < dduty \leq 0.02 \\ \frac{0.15-dduty}{0.13}, 0.02 < dduty \leq 0.15 \end{array} \right]$$

$$7) \text{ Positif Besar (PB)} = \left[\begin{array}{l} 0, dduty \leq 0.02 \\ \frac{dduty-0.02}{0.13}, 0.02 < dduty \leq 0.15 \\ 1, dduty > 0.15 \end{array} \right]$$

Adapun konfigurasi dari *membership function* variabel *duty* terlihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Membership Function Variabel Duty

Dan menggunakan *Rule Base* pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Fuzzy Rule Base

Error/ Derror	NB	NS	NK	NOL	PK	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NS	NK	NOL
NS	NB	NB	NB	NS	NK	NOL	PK
NK	NB	NB	NS	NK	NOL	PK	PS
NOL	NB	NS	NK	NOL	PK	PS	PB
PK	NS	NK	NOL	PK	PS	PB	PB
PS	NK	NOL	PK	PS	PB	PB	PB
PB	NOL	PK	PS	PB	PB	PB	PB

Desain logika *Fuzzy* yang telah dibuat kemudian diprogram dengan menggunakan arduino. Selanjutnya dilakukan pengujian, antara lain:

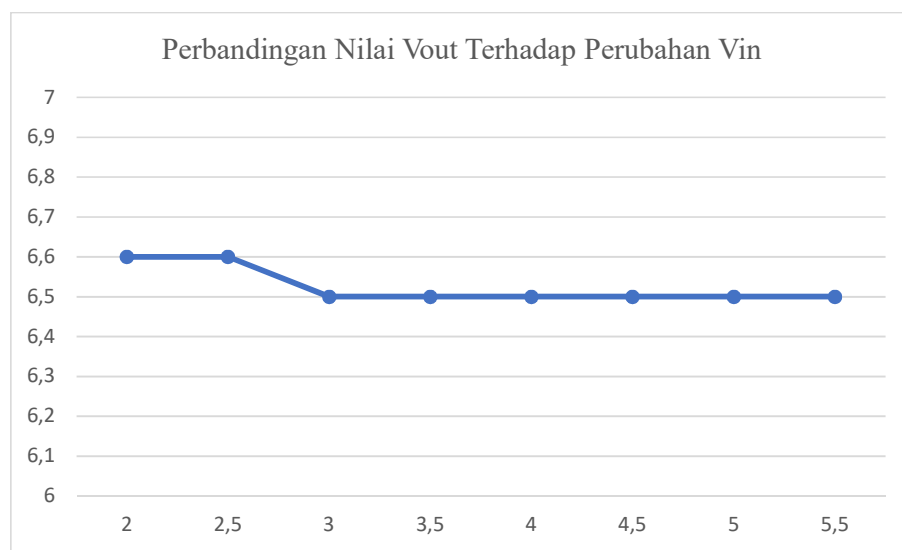
1) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resitif Tetap dan Sumber Tegangan DC *Power Supply* Berubah-ubah (*Close Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif tetap 100 Ohm dan sumber tegangan *input power supply* berubah-ubah dari 2V-5V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* yang diatur secara otomatis oleh logika *Fuzzy* yang berarti rangkaian ini bekerja secara

Close Loop atau dengan kontrol otomatis. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Close Loop)

No.	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	2	100	72	6,6	0,06	0,36	0,72	0,396	55
2	2,5	100	63	6,6	0,06	0,264	0,66	0,396	60
3	3	100	54	6,5	0,06	0,203	0,609	0,39	64,0394
4	3,5	100	49	6,5	0,06	0,169	0,5915	0,39	65,9341
5	4	100	45	6,5	0,06	0,139	0,556	0,39	70,1439
6	4,5	100	42	6,5	0,06	0,125	0,5625	0,39	69,3333
7	5	100	40	6,5	0,06	0,11	0,55	0,39	70,9091
8	5,5	100	38	6,5	0,06	0,08	0,44	0,39	88,6364



Gambar 4. 10 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin

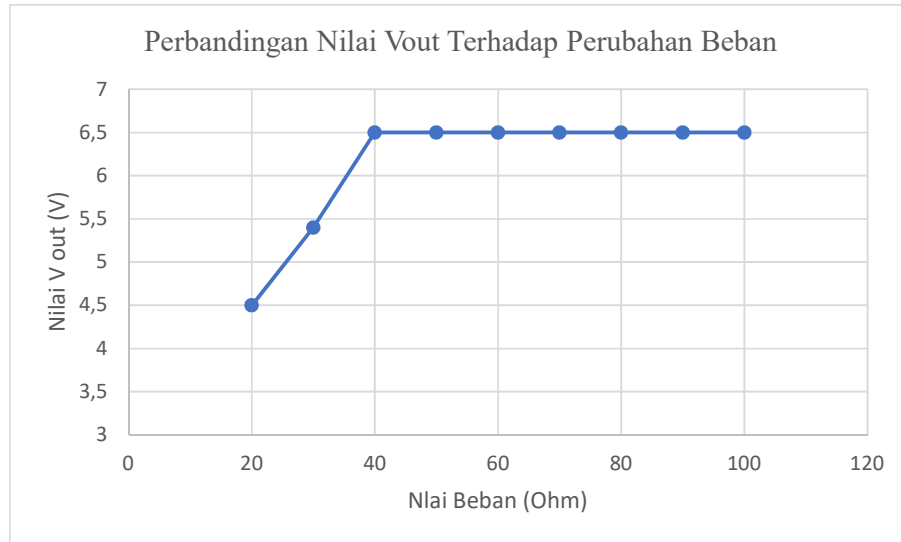
Pada gambar 4.10 ditunjukkan kurva perubahan nilai tegangan input(V_{in}) dari 2V-5,5V, dimana nilai masukkan beban resistif yang diberikan adalah 100 Ohm. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* adalah 6,6V kemudian turun di 6,5V ketika V_{in} di 3V. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 67,9%.

2) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resistif Berubah-ubah Dan Sumber Tegangan DC *Power Supply* Tetap (*Close Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif berubah-ubah dari 20 Ohm-100 Ohm dan sumber tegangan *input power supply* tetap 2V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* yang diatur secara otomatis oleh logika *Fuzzy* yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Close Loop* atau dengan kontrol otomatis. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Dengan Beban Resistif tetap Berubah-ubah 100-20 Ohm dan Tegangan Input Tetap (*Close Loop*)

No.	V_{in}	Beban	Duty	V_{out}	I_{out}	I_{in}	P_{in}	P_{out}	Efisiensi
	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	2	100	70	6,5	0,06	0,36	0,72	0,39	54,1667
2	2	90	72	6,5	0,065	0,381	0,762	0,4225	55,4462
3	2	80	76	6,5	0,07	0,444	0,888	0,455	51,2387
4	2	70	79	6,5	0,09	0,506	1,012	0,585	57,8063
5	2	60	84	6,5	0,1	0,592	1,184	0,65	54,8986
6	2	50	91	6,5	0,12	0,718	1,436	0,78	54,3175
7	2	40	94	6,5	0,15	0,93	1,86	0,975	52,4194
8	2	30	99	5,4	0,21	1,25	2,5	1,134	45,36
9	2	20	99	4,5	0	0	0	0	0



Gambar 4. 11 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Beban

Pada gambar 4.11 ditunjukkan kurva perubahan nilai beban resistif dari 100 Ohm-20 Ohm, dimana nilai masukan V_{in} yang diberikan adalah tetap 2V. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* tetap di 6,5V, namun mengalami penurunan tegangan menjadi 5,4V ketika beban resistif bernilai 30 Ohm dan mengalami drop tegangan ketika di beban 20 Ohm. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 47,29%.

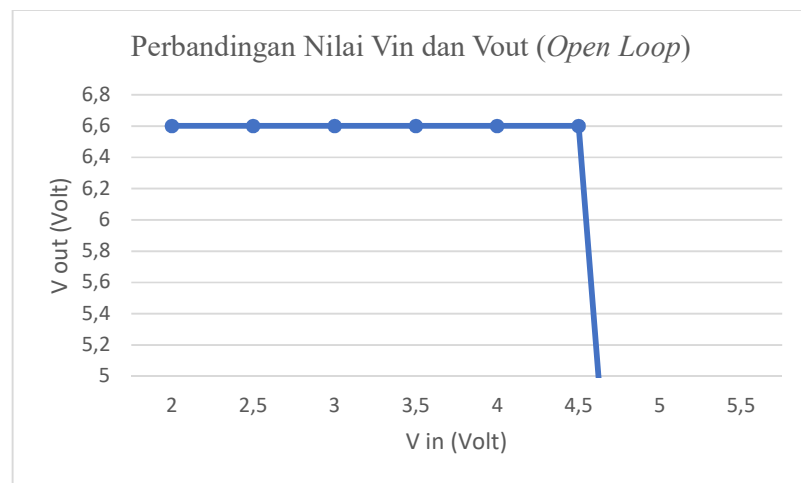
Ketika rangkaian telah diuji menggunakan tegangan konstan *power supply* kemudian diuji menggunakan modul PLTB. Adapun data yang didapat adalah sebagai berikut :

1) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resistif Tetap 100 Ohm Dan Sumber Tegangan Generator Modul PLTB Berubah-ubah (*Open Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif tetap 100 Ohm dan sumber tegangan dari generator modul PLTB yang menghasilkan tegangan dari 2V-5V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* yang diatur secara manual menggunakan potensiometer yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Open Loop*. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Open Loop) Menggunakan Modul PLTB

No.	Vin Motor DC	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	79	2	100	73	6,6	0,07	0,4	0,8	0,462	57,8
2	85	2,5	100	61	6,6	0,09	0,4	1	0,594	59,4
3	93	3	100	47	6,6	0,12	0,45	1,35	0,792	58,7
4	102	3,5	100	37	6,6	0,13	0,5	1,75	0,858	49,0
5	125	4	100	29	6,6	0,135	0,5	2	0,891	44,6
6	150	4,5	100	24	6,6	0,14	0,5	2,25	0,924	41,1
7	180	5	100	0	0	0	0	0	0,000	0
8	0	5,5	100	0	0	0	0	0	0,000	0



Gambar 4. 12 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin

Pada gambar 4.12 ditunjukkan kurva perubahan nilai tegangan input(Vin) dari 2V-5V, dimana nilai beban resitif yang diberikan adalah 100

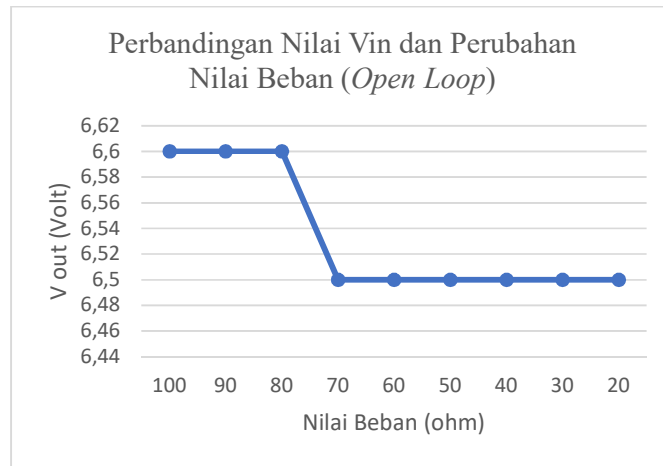
Ohm. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* adalah 6,6V kemudian V_{out} mengalami drop tegangan ketika kecepatan motor di 180V DC. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 38%.

2) Pengujian *Boost Converter* menggunakan Beban Resitif Berubah-ubah dan Sumber Tegangan DC Modul PLTB (*Open Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif dari 100 Ohm-20 Ohm dan sumber tegangan *input modul PLTB* konstan 2V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* dapat diatur secara manual menggunakan potensiometer yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Open Loop* atau tanpa metode. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Dengan Beban Resistif Berubah-ubah 20-100 Ohm dan Tegangan Input (*Open Loop*) Menggunakan Modul PLTB

No.	V Motor DC	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	79	2	100	70	6,6	0,09	0,35	0,7	0,594	84,9
2	79	2	90	65	6,6	0,09	0,35	0,7	0,594	84,9
3	79	2	80	60	6,6	0,095	0,4	0,8	0,627	78,4
4	79	2	70	59	6,5	0,1	0,45	0,9	0,65	72,2
5	79	2	60	58	6,5	0,11	0,48	0,96	0,715	74,5
6	79	2	50	57	6,5	0,13	0,5	1	0,845	84,5
7	79	2	40	43	6,5	0,15	0,55	1,1	0,975	88,6
8	79	2	30	42	6,5	0,18	0,7	1,4	1,17	83,6
9	79	2	20	58	6,5	0,25	0,9	1,8	1,625	90,3



Gambar 4. 13 Kurva Perbandingan Nilai Vin dan Perubahan Nilai Beban

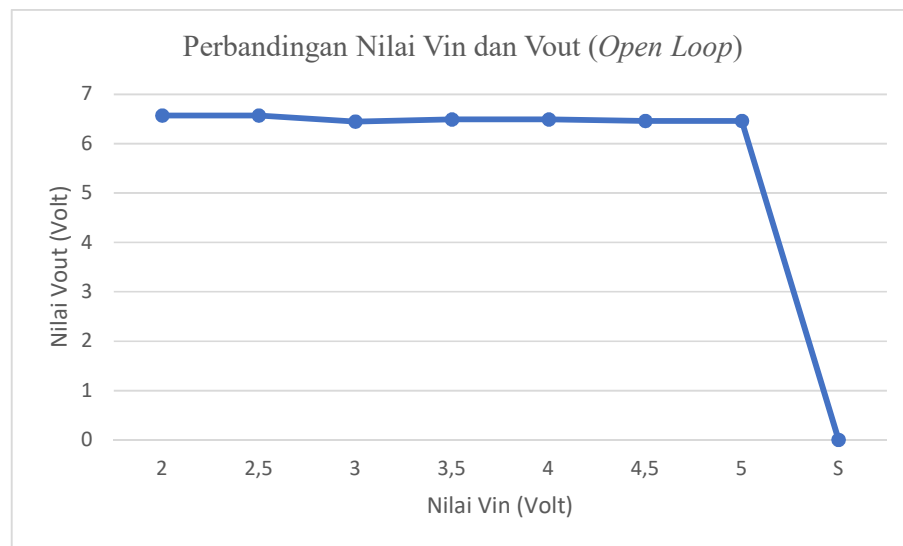
Pada gambar 4.13 ditunjukkan kurva perubahan nilai beban resistif dari 20 Ohm-100 Ohm, dimana nilai masukan V_{in} yang diberikan adalah tetap 2V. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* adalah di 6,6V kemudian turun menjadi 6,5V ketika nilai beban 70 Ohm-20 Ohm. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 82%.

3) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resitif Tetap Dan Sumber Tegangan DC Modul PLTB Berubah-ubah (*Close Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif tetap 100 Ohm dan sumber tegangan *input power supply* berubah-ubah dari 2V-5V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* yang diatur secara otomatis oleh logika *Fuzzy* yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Close Loop* atau dengan kontrol otomatis. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Dengan Beban Resitif tetap 100 Ohm dan Tegangan Input Berubah (Close Loop) Menggunakan Modul PLTB

No.	V Motor DC	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	79	2	100	69	6,57	0,055	0,2	0,4	0,361	90,3
2	85	2,5	100	66	6,57	0,06	0,25	0,625	0,394	63,1
3	93	3	100	52	6,45	0,055	0,15	0,45	0,355	78,8
4	102	3,5	100	45	6,49	0,055	0,15	0,525	0,357	68,0
5	125	4	100	37	6,49	0,055	0,15	0,6	0,357	59,5
6	150	4,5	100	35	6,46	0,055	0,15	0,675	0,355	52,6
7	180	5	100	30	6,46	0,055	0,15	0,75	0,355	47,4
8	0	S	100	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4. 14 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Vin

Pada gambar 4.14 ditunjukkan kurva perubahan nilai tegangan input (Vin) dari 2V-5V, dimana nilai beban resistif yang diberikan adalah 100

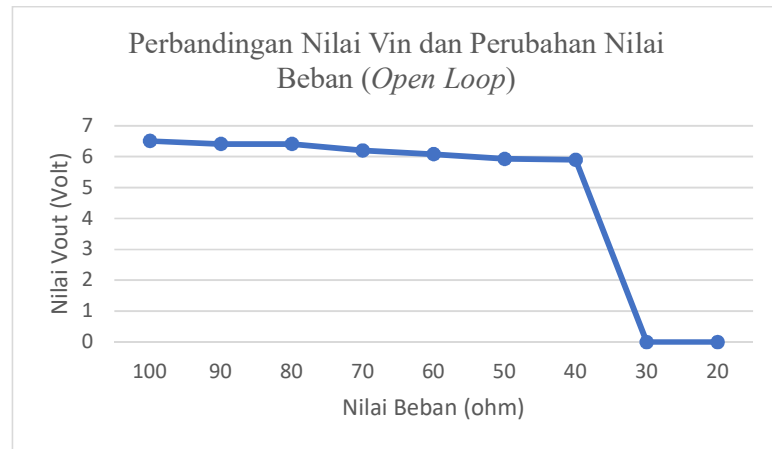
Ohm. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* adalah bervariasi dari 6.5V-6.4V. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 57,5%.

4) Pengujian *Boost Converter* Menggunakan Beban Resistif Berubah-ubah Dan Sumber Tegangan DC Modul PLTB Tetap (*Close Loop*)

Pengujian ini dilakukan menggunakan beban resistif berubah-ubah dari 20 Ohm-100 Ohm dan sumber tegangan *input Modul PLTB* tetap 2V. Dalam pengujian ini digunakan program arduino dengan *duty cycle* yang diatur secara otomatis oleh logika *Fuzzy* yang berarti rangkaian ini bekerja secara *Close Loop* atau dengan kontrol otomatis. Adapun data hasil pengujian ini terlihat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Dengan Beban Resistif Berubah-ubah 20-100 Ohm dan Tegangan Input Tetap (*Close Loop*) Menggunakan Modul PLTB

No.	V Motor DC	Vin	Beban	Duty	V out	I out	I in	P in	Pout	Efisiensi
	(Volt)	(Volt)	(Ω (ohm))	%	(Volt)	(A)	(A)	(Watt)	(Watt)	%
1	79	2	100	66	6,51	0,055	0,2	0,4	0,358	89,5
2	79	2	90	64	6,41	0,06	0,2	0,4	0,385	96,2
3	79	2	80	66	6,41	0,07	0,25	0,5	0,449	89,7
4	79	2	70	66	6,2	0,085	0,3	0,6	0,527	87,8
5	79	2	60	56	6,08	0,095	0,32	0,64	0,578	90,3
6	79	2	50	63	5,93	0,1	0,38	0,76	0,593	78,0
7	79	2	40	54	5,9	0,12	0,4	0,8	0,708	88,5
8	79	2	30	0	0	0	0	0	0	0
9	79	2	20	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4. 15 Kurva Perbandingan Nilai Vout dan Perubahan Nilai Beban

Pada gambar 4.15 ditunjukkan kurva perubahan nilai beban resistif dari 100 Ohm-20 Ohm, dimana nilai masukan V_{in} yang diberikan adalah tetap 2V. Terlihat bahwa nilai V_{out} dari *Boost converter* bervariasi dari 6,5V-5,9V ketika pada beban 40 Ohm. Efisiensi rata-rata pada pengujian ini adalah 68,9%.

4.2 Pembahasan

Modul Lab-Volt *Solar/Wind Energy Training System* merupakan modul Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang digunakan dalam skala laboratorium. Modul ini menggunakan generator yang diputar oleh motor DC. Motor DC ini diibaratkan angin di alam yang dapat memutar turbin angin sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Sebagai bentuk implementasi dari kecepatan angin di alam yang bervariasi, maka kecepatan putar motor DC ini dapat diatur dengan menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)*. Di dalam *datasheet*, modul motor DC dapat berputar mencapai 1800 Rpm dengan tegangan 0-180V, namun pada praktiknya motor DC hanya mampu berputar antara 200-1000 Rpm tanpa beban *output*.

Sehingga daya listrik yang dihasilkan oleh generator dimana yang tertulis dalam *datasheet* mampu menghasilkan 399Watt pada praktik nya hanya mampu menghasilkan maksimal 6Watt. Namun demikian, modul ini tetap dapat digunakan untuk mensimulasikan angin yang ada di alam.

Angin yang ada di alam sangat bervariasi bergantung pada letak geografis, waktu, maupun cuaca. Hal ini sangat berpengaruh dalam pemanfaatan angin sebagai sumber energi. Sumber energi dari alam yang dapat digunakan atau dimanfaatkan adalah sumber energi yang bernilai stabil. Khususnya sumber energi yang digunakan untuk mengisi baterai adalah sumber energi dengan nilai konstan sesuai kebutuhan baterai. Untuk menghasilkan energi yang dapat digunakan, maka energi yang dihasilkan oleh alam perlu diolah terlebih dahulu. Dalam pengolahannya dapat dilakukan beberapa cara, salah satunya dengan menggunakan rangkaian *converter* untuk mendapatkan tegangan stabil.

Dalam penelitian ini dibuat sebuah rangkaian *boost converter* yang dapat menaikkan tegangan variasi dari 2V-5V yang dihasilkan oleh modul PLTB menjadi tegangan 6,5V sebagai sumber pengisian baterai 6V. Dengan menggunakan metode *Logic Fuzzy Controller* tegangan dari modul PLTB yang bervariasi dapat distabilkan secara otomatis agar dapat digunakan untuk mengisi baterai 6V.

Prinsip kerja dari alat kontrol Modul PLTB ini adalah menaikkan tegangan sumber (V_{in}) yang berasal dari generator kemudian akan distabilkan oleh *Fuzzy Logic Controller* sehingga menghasilkan *output* yang dapat digunakan untuk mengisi baterai 6V. Ketika motor DC diputar dengan kecepatan tertentu, maka

generator akan menghasilkan tegangan, kemudian tegangan tersebut diolah oleh *boost converter* yang distabilkan oleh *Fuzzy Logic Controller*.

Boost Converter ini bekerja dengan *frekuensi switching* sebesar 45kHz. Untuk menganalisa kerja dari *boost converter* maka dipisah menjadi dua tahap yaitu saat saklar ON dan saat saklar OFF. Pada saat *switch* ON maka induktor mengalami *charging* atau penyimpanan energi berupa arus, kemudian saat *switch* OFF maka induktor melepaskan energinya dan mengalir bersama arus yang berasal dari sumber generator modul PLTB. Kapasitor yang berada setelah *dioda* berfungsi untuk menyimpan energi sementara dalam bentuk tegangan. Sehingga tegangan *output* akan selalu lebih besar dari tegangan *input*. Alat ini dilengkapi dengan sensor tegangan yang dapat mendeteksi tegangan *output* dan juga sebagai *feedback* Logika Fuzzy. Logika fuzzy ini berfungsi untuk mempertahankan tegangan *output* dari alat agar tetap berada pada tegangan 6,5V meskipun *input* dari generator berubah-ubah yang mengimplementasikan perubahan kecepatan angin di alam. Sehingga tegangan yang diolah dapat digunakan untuk mengisi baterai 6V.

Dari data hasil percobaan yang telah dilakukan, terlihat bahwa tegangan *output* yang dihasilkan oleh rangkaian *boost converter* bervariasi sesuai tegangan *input* atau beban yang diberikan, namun rata-rata mencapai tegangan yang ingin dihasilkan yaitu 6V-6,6V. Pada percobaan dengan sistem rangkaian *open loop* tegangan *output* yang dihasilkan rangkaian dapat disesuaikan dengan mengubah-ubah *duty cycle* menggunakan *potensiometer* dan dapat dilihat bahwa *duty cycle* yang dibutuhkan pada pengujian rangkaian dengan sistem *open loop* berkisar antar 38-70%. Sedangkan pada percobaan menggunakan sistem *close loop* yang artinya

duty cycle yang dibutuhkan oleh rangkaian untuk mencapai tegangan yang diinginkan diatur secara otomatis oleh *fuzzy Logic Controller* dapat dilihat bahwa *duty cycle* yang dibutuhkan adalah berkisar antara 30-69%. Seperti terlihat dalam tabel 4.9-4.12 terlihat bahwa untuk menghasilkan tegangan 6,5V dengan variasi tegangan *input* maupun variasi beban *output* rangkaian *boost converter* membutuhkan *duty cycle* antara 30-75%. Dengan efisiensi rangkaian rata-rata 60% untuk rangkaian dengan sistem *open loop* dan 63% untuk rangkaian sistem *close loop*. Dengan tegangan yang dihasilkan rata-rata mencapai 6,5V, hal ini membuktikan bahwa rangkaian *boost converter* dengan metode *Fuzzy Logic Controller* menghasilkan energi yang cukup stabil.

Tegangan *output* dari *boost converter* digunakan sebagai *charger* baterai 6V. Lamanya *charger* baterai dengan kapasitas 6V, 4,5Ah adalah selama ± 72 jam. Waktu pengisian baterai ini menjadi sangat lama karena arus yang dihasilkan oleh rangkaian *boost converter* bernilai rata-rata 0,075 Ah. Besar kecilnya arus yang dihasilkan rangkaian *boost converter* dipengaruhi oleh besarnya daya yang masuk pada rangkaian, serta efisiensi dari alat rangkaian sendiri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan hasil penelitian dapat diperoleh beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Angin di alam yang memiliki kecepatan bervariasi, dimana dalam penelitian kali ini diuji dengan variasi kecepatan putar motor DC dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pengganti sumber energi konvensional dengan cara melakukan pengolahan terhadap sumber energi angin tersebut. Salah satu cara yang digunakan adalah dengan membuat rangkaian *converter* untuk menaikkan dan menstabilkan tegangan yang dihasilkan oleh angin.
2. Rangkaian *boost converter* pada penelitian ini merupakan rangkaian yang dapat menaikkan tegangan input yang bervariasi dari 2V-5V menjadi tegangan 6,5V yang dapat digunakan untuk mengisi baterai 6V.
3. Rangkaian *boost converter* pada penelitian ini memiliki efisiensi rata-rata 60% untuk sistem rangkaian *open loop* dan 63% untuk sistem *close loop*.
4. Rangkaian pada penelitian kali ini dapat mengisi baterai dengan kapasitas 6V, 4,5AH dalam waktu ± 72 jam.
5. Algoritma *Fuzzy* dapat menjaga tegangan *output* konstan pada 6,5V dengan variasi tegangan *input* dan variasi beban.

5.2 Saran

Setelah melakukan perancangan dan pengambilan data, dapat diberikan beberapa saran untuk pengembangan sistem yang telah dirancang dimasa yang akan datang. Saran tersebut adalah sebagai berikut :

1. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya generator yang digunakan dapat diperbaiki atau menggunakan modul lain dengan spesifikasi yang sama.
2. Menggunakan rangkaian *auto cut off* untuk pengisian baterai, agar pengisian berjalan secara otomatis.
3. Efisiensi rangkaian pada penelitian kali ini masih sangat rendah, diharapkan dalam penelitian selanjutnya dapat dibuat rangkaian *boost converter* dengan efisiensi yang lebih tinggi.
4. Alat ini menggunakan metode adaptif fuzzy yang di mana metode ini akan menyesuaikan output dengan kondisi yg berbeda. Akan tetapi hasilnya tidak sesuai yang diharapkan sehingga penelitian selanjutnya agar dapat menemukan metode yang sesuai dengan alat ini.

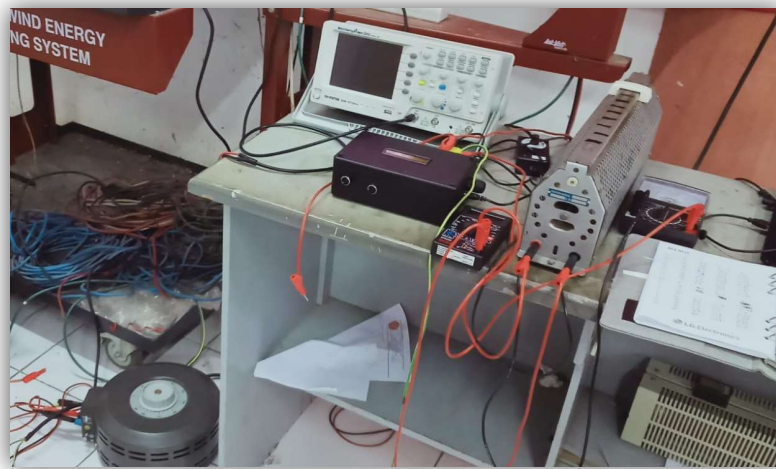
DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, Aurino. P, *et all.* 2011. *Sistem Pengisian Battery Lead Acid Secara Adaptive*, Surabaya, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Djatkiko, Istanto W. 2010. *Bahan Ajar Elektronika Daya*. Yogyakarta, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Dhamat, Meenal an Dr. Mahor, Amita.2015. *Designing Modeling and Simulation of a Closed-Loop Buck-Boost Converter*. India, NRI Institute of Science And Technology.
- Ericson, Robert W.2004, *Fundamental of Power Electronics,2nd Ed*,Colorado, KLUWER ACADEMIC PUBLISHER.
- Gamayanti, Nurlita. 2007.*Kontrol PID*. Surabaya, Institusi Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hidayat, Suryo M. 2010, *Rancang Bangun Buck Boost Konverter*, Depok, Universitas Indonesia.
- Hariati, 2016, *Desain Dan Pemodelan DC-DC Boost Converter Dengan Kendali PID Berbasis Matlab Simulink*, Palu, Universitas Tadulako.
- Indah Susanti, dkk, 2019, *Analisa Penentuan Kapasitas Baterai Dan Pengisiannya Pada Mobil Listrik*, ISSN : 2503-0221.
- Jacob, J. Michael,1989,*Industrial Control Electronics: Aplications And Desig.* Englewood Cliffs, N.J., *Prentice-Hall International,Inc.*
- Manurung, R. 2014. *Analisis Daya Pada Baterai Dengan Metode Charge Dan Discharge*.Medan, Universitas Sumatera.
- N. Mohan, *et all.*1995, *.Power Electronics: Converters,Applications, and design,2nd Ed*, New York, John Wiley \& Sons, Inc.
- Ogata, Katshuhiko. 1996. *Control Automatik*, Jakarta, Erlangga.
- Pepen,F.R. 2015. *Pemodelan dan Simulasi*. Jakarta Timur, Universitas Suryadarma.
- Priyadarshini and Dr. Rai,Shantharam.2012. *Design, Modelling and Simulation of a PID Controller for Buck-Boost and Cuk Converter*. India, Canara Engineering College.
- Rathi, Ms. Kashmira dan Dr. Ali, M. S.2016. *Design and Simulation of PID controller for Power Electronics Converter Circuit*. India, Principal,Prof. Ram Meghe College Of Enginering & management (PRMCEAM).
- Rashid, Muhammad H. 1993. *Terjemahan Elektronika Daya*. Yogyakarta, PT. Prehallindo.
- Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Elektronik Handbook*. Canada, Academic Press.

LAMPIRAN

Dokumentasi Pengujian Alat





Dokumentasi Bentuk Alat dan Rangkaian Alat

