

DESAIN DAN SIMULASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) *PERTURB AND OBSERVE* (P&O) DENGAN KENDALI ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN KECEPATAN RENDAH

Melaluca Leuca Dendron Kadarnis*, Amir Hamzah**

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau**
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: melaluca.leuca6818@student.unri.ac.id

ABSTACK

Wind power plants are power plants that compose wind energy to produce electricity. With a Permanent Magnet synchronous generator or better known as PMSG (Permanent Magnet Synchronous Generator) is a generator by using a permanent magnet in the stator so that it can excite itself. MPPT P & O (Maximum Perturb and Observe Power Point Tracking) is implemented using a buck-boost converter to find the maximum power value used to charge 28V batteries. The design and analysis of buck boost converter modeling has been made and simulated using Proteus pro 8.6 by using Arduino as a duty-cycle controller. The results of the MPPT P & O algorithm that is inserted into Arduino are able to vary the width of the duty cycles to control battery loading while maintaining a safe limit on battery charging voltage.

Key word: PMSG, MPPT P&O, Buck-Boost Converter, Arduino, Proteus Profesional 8.6

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Tidak seluruh wilayah Indonesia mendapati potensi angin yang besar, sehingga kurang memaksimalkan pembangkitan listrik tenaga Angin. Terdapat di beberapa wilayah Indonesia yang banyak memiliki potensi angin rendah. Generator sinkron Magnet Permanen atau yang lebih dikenal PMSG (*Permanent Magnet Synchronous Generator*), Merupakan sebuah generator dengan menggunakan magnet permanen di bagian statornya sehingga dapat mengeksitasi sendiri. PMSG sangat tepat digunakan untuk pembangkit listrik skala kecil karena dapat berdiri sendiri tanpa memerlukan eksitasi dari luar. Kondisi angin yang selalu berubah-ubah setiap waktu, sehingga menimbulkan putaran turbin angin dan tegangan yang berubah-ubah juga maka dari itu

diperlukan penjejak daya keluaran dari generator angin, yaitu berupa *Maximum Power Point Tracker* (MPPT).

2. LANDASAN TEORI

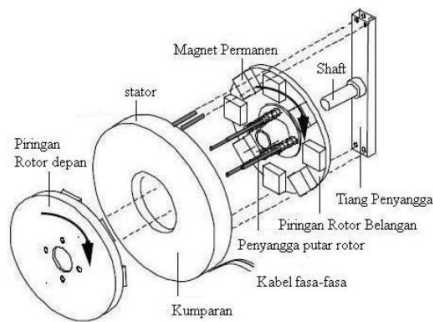
2.1. Angin

Angin merupakan udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan udara disekitarnya. Angin bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Pada daerah permukaan bumi yang suhunya lebih tinggi maka udara disekitarnya akan mengembang, kemudian akan diisi oleh udara dingin dari daerah lain, sehingga udara akan bergerak dari daerah dengan suhu dingin ke daerah yang bersuhu lebih panas. Arah angin dinyatakan dalam derajat sedangkan kecepatan dinyatakan dalam satuan Internasional dan sering menggunakan tabel skala yang lebih dikenal dengan sebutan *Beaufort Scale* / Skala

Beaufort dengan satuan knots. (1 knots = 0.5 m/s atau 1.8 – 1.9 km/jam) angin dinyatakan dengan arah dari mana angin tersebut berhembus, contoh angin timur artinya angin dari timur menuju barat.

2.2. Permanen Magnet Generator Sinkron

Pemanfaatan energi alam seperti energi angin sebagai sumber energi listrik alternatif berskala kecil memerlukan generator yang sesuai karena energi mekanik berupa putaran yang dihasilkan oleh sumber energi tersebut umumnya pada putaran rendah. Dikarenakan itu perlu pengembangan generator sinkron yang mampu menghasilkan tegangan yang diperlukan pada putaran yang relatif rendah. Generator sinkron magnet permanen cocok digunakan pada pembangkit listrik dengan putaran rendah karena dibagian rotor tidak memerlukan eksitasi dari luar, rotor mampu mengeksitasi sendiri karena menggunakan magnet permanen.



Gambar 1. Generator Sinkron Magnet Permanen

Untuk mencari nilai puncak dari sebuah generator sinkron magnet permanen dapat digunakan persamaan

$$V_m = V_{RMS} * \sqrt{2} \quad (1)$$

Dimana V_{rms} merupakan tegangan besaran yang terdapat di name plate dari generator.

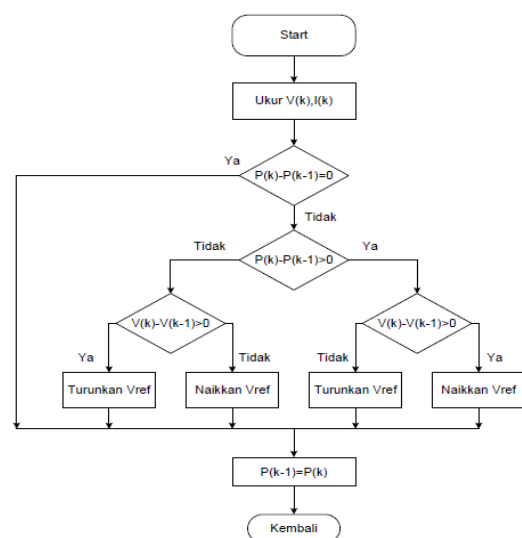
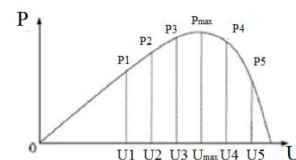
2.3. Arduino uno

Arduino Uno adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Dengan menggunakan papan pengembangan, anda akan lebih mudah merangkai rangkaian elektronika mikrokontroler dibanding jika anda memulai merakit ATmega328 dari awal di breadboard. Arduino Uno memiliki 14 digital pin input / output (atau biasa ditulis I/O, dimana 6 pin diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz, koneksi USB, jack listrik, header

ICSP dan tombol reset.. Software Arduino IDE, yang bisa diinstall di Windows maupun Mac dan Linux, berfungsi sebagai software yang membantu anda memasukkan (upload) program ke chip ATmega328 dengan mudah.

2.4. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT (Maximum Power Point Tracking) merupakan sebuah metodologi yang biasa digunakan pada pembangkit tenaga angin atau pembangkit tenaga surya sehingga dapat memaksimalkan pemanenan daya dari sumber energi terbarukan. Metode *perturb and observe* merupakan metode pendekatan yang banyak digunakan untuk menentukan titik maksimum daya. Metode ini bekerja dengan *perturbing* (gangguan) pada sistem dengan meningkatkan dan menurunkan tegangan operasi sumber dan *observing* (mengamati) dampaknya pada suplai daya keluaran yang ada di sumber. Seperti yang di jelaskan di atas metode *perturb and observe* terdiri dari dua tahapan, *perturb*. Mengirimkan perubahan pada tegangan atau arus referensi dari generator angin. *Observe*, melakukan perhitungan daya yang disebabkan oleh *perturb*-nya. Perbandingan daya sebelum dan sesudah proses *perturb* merupakan acuan untuk menambah atau mengurangi tegangan untuk langkah berikutnya dan mendapatkan nilai MPP-nya.

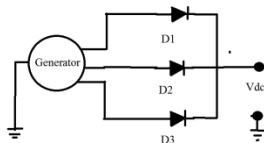


Gambar 2 . grafik langkah kerja dan diagram alir cara kerja metode P&O

Seperti yang terlihat pada gambar 2, pada grafik jika titik daya tidak berada pada titik daya maksimal maka algoritma MPPT seperti yang terlihat pada flowchat gambar 2 akan bekerja dengan cara menaikkan atau menurunkan *duty-cycle*. Supaya dapat dijejak titik dari daya maksimum pembangkit.

2.5. Rectifier

Rectifier atau penyearah merupakan sebuah rangkaian elektronik pengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah.



Gambar 3. Penyearah tiga fasa setengah gelombang

Rangkaian ini bisa dianggap tiga gelombang setengah fasa yang disatukan, disebut juga penyearah tiga fasa setengah gelombang. Persamaan dari rangkaian penyearah setengah gelombang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$V_{dc} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi 2} = 0.827 V_m \quad (2)$$

Penapis kapasitor untuk memperkecil riak-riak yang dihasilkan oleh penyearah supaya hasil gelombang keluaran dari penyearah menyerupai dc murni, untuk mencari besarnya riak dapat digunakan persamaan dibawah ini.

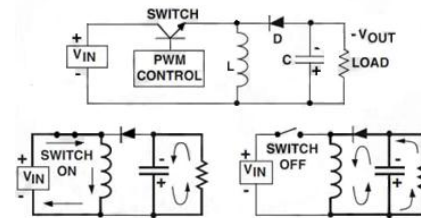
$$V_{r(PP)} = \frac{V_m}{f_r R C} \quad (3)$$

Dimana $V_{r(PP)}$ merupakan riak tegangan puncak ke puncak, f_r merupakan jumlah frekuensi riak dari penyearah dalam praktisnya nilai kapasitor menentukan besaran riak yang dapat disaringnya. Yang mana tegangan yang telah disearahkan penyearah, membuat kapasitor menjadi terisi. Ketika tegangan yang disuplai dari generator yang melalui penyeraha secara tiba-tiba menurun maka kapasitor akan mengosongkanke resistor beban, hasil tegangan kapasitor bervariasi antara nilai maksimum tegangan V_m dan nilai minimum yang menyebabkan $V_{r(PP)}$.

2.6. Buck Boost Converter

Buck Boost Converter merupakan sebuah penaik dan penurun tegangan DC, merupakan penggabungan dari rangkaian *buck* dan *boost* converter. Digunakan ketika tegangan yang dibutuhkan oleh suatu perangkat atau rangkaian elektronik lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan supply yang tersedia, dengan syarat tegangan output selalu lebih besar atau lebih kecil dari tegangan input dan tegangan *output* mempunyai polaritas yang

terbalik dari tegangan *input*. Nilai tegangan keluarannya dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dengan mengatur mengatur besar lebar pulsa (*duty-cycle*) dari PWM (*Pulse Width Modulation*).



Gambar 4. Topologi *Buck Boost Converter*

PWM merupakan suatu metode pengaturan tegangan dengan mengubah atau mengatur periode ON (T_{on}) pada tegangan dengan frekuensi yang sama. Siklus kerja ini didapati antara lamanya periode pada kondisi ON dengan periode dalam kondisi OFF yang disebut dengan *duty-cycle*. Besar dan kecilnya nilai tegangan keluaran ditentukan oleh besarnya *duty cycle* (D), Bila $D > 0.5$ maka nilai tegangan keluarannya akan lebih besar dari nilai tegangan masukannya, sedangkan jika $D < 0.5$ maka tegangan tegangan keluaran akan lebih kecil dari tegangan masukannya dan tegangan masukan akan sama dengan tegangan keluaran jika $D = 0.5$. Persamaan untuk menentukan *duty cycle* dapat dilihat pada persamaan 4.

$$Duty-cycle (D) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on}.F \quad (4)$$

Pertama mencari nilai *duty cycle* untuk menentukan besar tegangan keluaran yang diinginkan.

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

Kemudian dicari besaran beban yang melewati rangkaian *buck boost converter*.

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (6)$$

Mencari nilai minimum induktansi dari induktor *buck boost converter* yang ingin dicari.

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2f} R \quad (7)$$

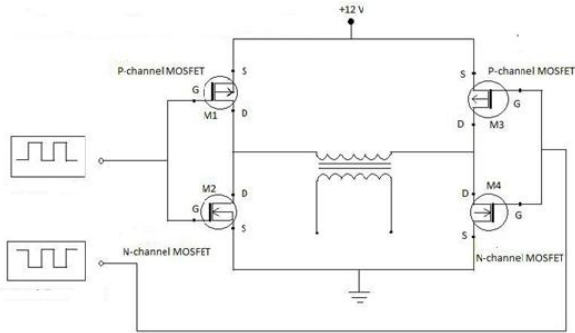
Nilai L harus lebih besar dari nilai L minimum, dan untuk mencari nilai kapsitor

$$C = \frac{V_o D}{R \Delta V_o f} \quad (8)$$

2.7. Inverter

Inverter merupakan sebuah rangkaian elektronika daya dengan fungsi untuk merubah tegangan searah DC menjadi tegangan bolak-balik AC. Inverter yang terbaik adalah yang mampu menghasilkan gelombang sinusoida murni yaitu bentuk gelombang yang sama dengan bentuk jaringan listrik (*grid utility*). Inverter sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di rumah maupun di

kendaraan. Berdasarkan gelombang yang dihasilkan maka inverter maka dapat dibagi menjadi tiga yaitu: *Square Wave* (Gelombang persegi), *Modified Sine Wave* (Gelombang sinus modifikasi), *Pure Sine Wave* (*True Sine Wave*/Gelombang sinus murni).



Gambar 5. Topologi Inverter Jembatan satu fasa

Seperti yang terlihat pada gambar 5, pada topologi inverter dengan susunan H-bridge, tiap-tiap MOSFET disulut secara bergantian, sehingga dapat menciptakan gelombang sinus pada *output* keluaran dari *inverter*.

2.8. Baterai

Baterai merupakan sebuah perangkat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik, bagian dalam baterai terisi elektrolit dan pelat-pelat yang berisi bahan aktif, jenis tersebut antara lain.

1. Baterai VLA (*Vented Lead Acid*)

Baterai jenis ini mirip seperti aki yang terdapat pada kendaraan bermotor, sedangkan bedanya terletak pada tebal lempengan elektroda.

2. Baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*)

Baterai VRLA bersifat tertutup (*sealed*), penguapan yang dikeluarkan sangat kecil, sehingga sangat sedikit senyawa / bahan yang dapat keluar / masuk baterai, VRLA tidak memerlukan penambahan cairan elektrolit selama periode pemakaian baterai tersebut. Metode pengisian *cycle use*, baterai diisi pada kapasitas puncak dan terhubung ke beban. Arus pengisian puncak dari baterai sama dengan CA, dimana C merupakan rating nilai kapasitas baterai dan A merupakan inisial rating arus dari pabrikan baterai, arus puncak yang direkomendasikan untuk pengisian baterai dapat ditentukan dengan persamaan 10.

$$\text{Arus puncak pengecasan} = CA * Ah \quad (9)$$

Untuk mencari lama waktu pengecasan dapat dicari dengan mebagi antara kapasitas baterai dengan arus pengecasan.

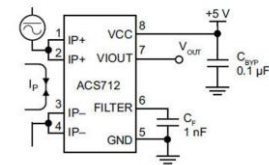
$$H = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Arus}} \quad (10)$$

2.9. (Software simulasi & desain PCB)

Proteus merupakan sebuah *software* untuk mendisain PCB yang juga dilengkapi dengan simulasi pspice pada level skematik sebelum rangkaian skematik sebelum rangkaian skematik diupgrade ke PCB sehingga sebelum PCB dicetak sudah benar atau tidak.

2.10. Sensor arus

Sensor arus merupakan perangkat berfungsi untuk merubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa. Menggunakan rangkaian listrik tertentu. Sensor arus ACS712 merupakan suatu IC terpaket yang mana berguna sebagai sensor arus menggantikan transformator arus yang relative besar dalam hal ukuran.



Gambar 6. Sensor arus ACS 712

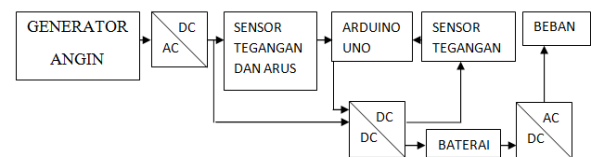
2.11. Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini memiliki cara kerja dengan menggunakan dua buah resistor sebagai pembagi tegangan, karena tegangan yang dapat di terima arduino hanya berkisar 5V. Sensor tegangan memakai prinsip dari rangkaian pembagi tegangan, Rangkaian pembagi tegangan secara sederhananya terbentuk dari dua buah resistor yang disusun secara seri, dengan suplay dari tegangan diambil sebuah jalur di tengah-tengah rangkaian seri resistor sebagai output dari tegangan yang dibagi.

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (11)$$

3. Metodologi Penelitian

3.1. Blok Diagram



Gambar 7. Blok diagram

Generator angin menghasilkan energi listrik dari hasil konversi energi potensial angin. Listrik yang dihasil dari generator masih berupa listrik AC, Sebelum masuk ke rangkaian kontrol disearahkan

terlebih dahulu di penyearah menjadi listrik DC karena perangkat dc-dc konverter memerlukan listrik dc untuk dapat bekerja. Keluaran dari penyearah masuk ke sensor tegangan dan arus. Sensor-sensor bertugas untuk mendeteksi perubahan tegangan dan arus dari generator, hasil tersebut kemudian untuk diolah data-datanya di arduino. Dan juga hasil dari *rectifier* masuk ke bagian dc-dc konverter. Dc-dc konverter belum dapat bekerja sebelum dapat sinyal PWM dari arduino. *Arduino* bertugas memberikan sinyal PWM *duty cycle* dari hasil pembacaan sensor-sensor, sinyal PWM *arduino* untuk menjaga kestabilan dc-dc konverter dalam proses pengisian baterai. Hasil keluaran dari dc-dc konverter dipasangi sensor tegangan, untuk memastikan tegangan pengisian baterai sesuai. Hasil keluaran dari konversi yang dilakukan dc-dc konverter untuk pengisian ulang baterai, sebelum digunakan untuk beban tegangan baterai harus dirubah terlebih dahulu melalui sebuah inverter untuk merubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang siap digunakan untuk menyalakan peralatan-peralatan rumah tangga ringan.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini antara lain:

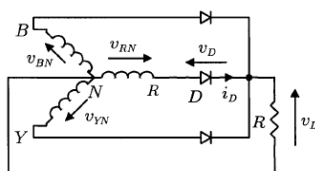
- 3.2.1. Laptop TOSHIBA satlite C800; dan
- 3.2.2. Proteus Profesional 8.6.

3.3. Metode Pengumpulan Data

Adapun parameter-parameter yang ditentukan, yaitu:

1. *Software* Proteus profesional 8.6
2. Generator Sinkron 24V denggan rating kerja genrator diasumsikan mampu bekerja dari 15Vac- 50Vac.
3. Tegangan baterai 24Vdc.
4. Frekuensi switching 6.5Khz
5. MOSFET IRF540N.

3.4. Perancangan Penyearah tiga fasa setengah gelombang



Gambar 8. Rangkaian Penyearah tiga fasa setengah gelombang

Pada gambar 8 merupakan rangkaian penyearah tiga fasa setengah gelombang dengan tiga dioda sebagai penyearah gelombang sinus dari

generator sebelum memasuki rangkaian *buck boost converter* dengan mengunakan kapasitor penapis 4470 uf untuk menghasilkan riak tegangan keluaran sebesar 0.1 V.

3.5. Perancangan Model Simulasi

Tabel 1. Parameter *Buck Boost Converter*

Tegangan Masukan	28Vdc
Induktor	19.2 uH
Kapasitor	240 uf
Rasio Kerja	0.5
Frekuensi Pensaklaran	62.5 KHz
Tegangan Keluaran	28.8Vdc

3.6. Perancangan Sensor Tegangan

Sensor Tegangan yang akan dirancang mampu untuk melakukan pengukuran dengan rentang dari 0V sampai 50V dengan menggunakan susunan resistor pertama bernilai 10 K ohm dan resistor kedua bernilai 1K ohm.

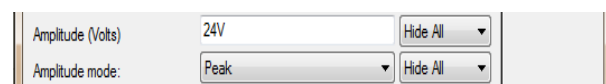
3.7. Perancangan Sensor Arus

Sensor arus yang digunkana terdapat pada *library* proteus dengan nama model ACS 712. Terdapat tidak sensor ACS712 yang dapat digunkana yaitu dengan rentang 5A, 20A, 30A.

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Tegangan Masukan dan Keluaran Generator

Pada simulasi di Proteus untuk mengatur tegangan yang dihasilkan dari generator 24 Volt dapat diatur pada blok parameter yang terdapat di proteus. Pada blok parameter proteus terdapat tiga mode amplitudo gelombang hasil keluaran generator yaitu mode Peak, tegangan 24 V pada kondisi Peak, mode RMS, tegangan 24 V pada kondisi rms dan pada mode Peak to Peak, tegangan 24 V pada kondisi puncak ke puncak.

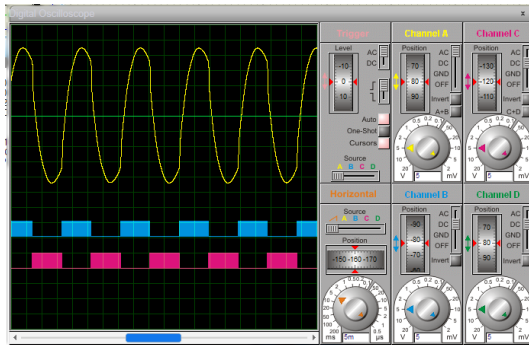


Gambar 9. Blok parameter masukan generator di proteus

4.2. Hasil Gelombang Keluaran dari Inverter

Supaya tegangan baterai dapat digunakan untuk menyalakan pemakaian peralatan-peralatan rumah tangga yang kebanyakan menggunakan tegangan

AC maka tegangan DC dari baterai di rubah menjadi AC, dalam rancangan inverter yang dirancang menggunakan simulasi proteus dapat menghasilkan gelombang sinus dengan frekuensi 50 Hz dengan cara pencuplikan sinyal nkeluaran yang dihasilkan arduino sebanyak 482 pulsa dengan dengan rentang tiap sinyal *HIGH* 10 ms dan *LOW* 10 ms. Sehingga total pulsa yang didapat 20 ms untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz. Hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 10.

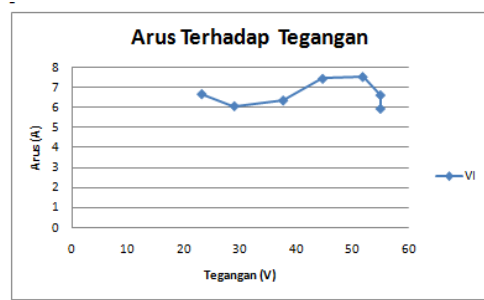


Gambar 10. Gelombang keluaran hasil Inverter

Pada gambar 10 terlihat bahwa gelombang berwarna kuning merupakan gentuk gelombang hasil keluaran dari *inverter* sedangkan gelombang berwarna biru dan merah merupakan gelombang pulsa-pulsa yang dibangkitkan arduino, perbedaan pembangkitan pulsa-pulsa yang dibangkitkan arduino menciptakan bentuk gelombang sinus keluaran *inverter*.

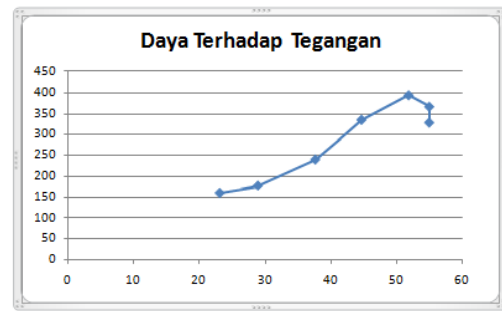
4.3. Grafik dan Hasil disain *Maximum Power Point Tracking*

Pada pengujian MPPT P&O, dari hasil algoritma MPPT P&O yang dimasukkan ke dalam arduino dengan pengontrol tegangan keluaran dari *buck boost converter* adalah dengan melihat kurva karakteristik dari tegangan 20 V hingga 50 V gelombang yang dihasilkan generator. Dengan perubahan dutycycle yang dihasilkan arduino untuk mengendalikan *Buck Boost Converter*. Pengambilan data MPPT dilakukan ketika MPPT mencapai keadaan steady state yang terjadi di tegangan 20 Vac hingga 50Vac, diasumsikan generator yang di uji dapat bekerja dalam kondisi 100%, data dari 20 Vac sampai 50Vac merupakan data dari rata-rata tiap tegangan pada kondisi stady state. Untuk satu sampel data tegangan berisi 50 yang kemudian dari tiap-tiap tegangan dirata-ratakan.



Gambar 11. hasil dari gelombang keluaran MPPT P&O, kurva karakteristik V-I

Pada gambar 11 merupakan bentuk dari grafik antara tegangan input dengan arus input dari pembangkit.

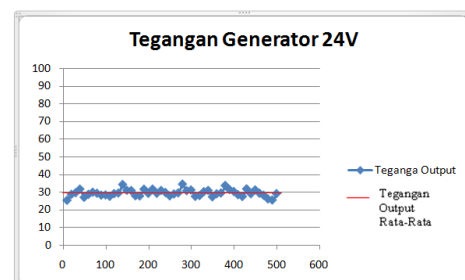


Gambar 12. hasil dari gelombang keluaran MPPT P&O, Kurva daya

Dari grafik yang didapati dapat dilihat daya puncak dengan mengkalikan hasil dari tegangan masukan dan arus masukan yang dihasilkan dari generator sehingga. Terlihat pada gambar 12 tiap tegangan generator memiliki titik kerja berbeda-beda dan terus meningkat hingga tiba di titik daya puncak yang dapat dicapai.

4.4. Pengujian Tegangan Pengecasan

MPPT P&O yang diatur untuk mengendalikan tegangan keluaran yang berguna untuk mengisi ulang baterai diatur pada tegangan 28V sehingga di dapati hasil pengujian dari tegangan 20VAC hingga 50 VAC yang diambil 50 sampel data hasil simulasi.



Gambar 13. Hasil Tegangan Keluaran pengecasan pada kondisi 24 V

Pada gambar 13 terlihat hasil tegangan keluaran yang dihasilkan *buck boost converter* memiliki rata-rata keluaran output 28 V.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didalam bab 4 maka didapati simpulan dari hasil penelitian dengan judul Disain dan Simulasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) *Perturb and Observe* (P&O) Dengan Kendali Arduino Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Kecepatan Rendah. Mendapati hasil.

1. Pengujian karakteristik MPPT, dengan memasukan arduino algoritma MPPT P&O maka didapati hasil grafik daya yang membentuk huruf “U” terbalik dengan rentang pengujian dari tegangan 20V hingga 50V tegangan generator.
2. Tegangan untuk mengecas baterai berada pada 20% tegangan pengecasan baterai yaitu pada rentang 28V, tegangan keluaran yang dihasilkan konverter berada pada rentang rata-rata tegangan 28V. walau tegangan masukan berada pada 15V sampai 50V.
3. Inverter yang dirancang mampu menghasilkan bentuk gelombang sinus dengan frekuensi gelombang 50Hz.

5.2. Saran

1. Rancangan Inverter untuk kedepannya dirancang lebih baik dikarenakan penelitian ini memiliki fokus utamanya pada algoritma MPPT P&O terhadap rangkaian *buck boost converter* dengan pembangkitan listrik yang keluarannya naik dan turun.
2. Karena didapati osilasi pada tegangan keluaran *buck boost converter* maka perlu ditambahkan sebuahh regulator pengecasan untuk menstabilkan tegangan keluaran dari konverter.

DAFTAR PUSTAKA

- a. Shofasinda.(2014).”Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLT Angin)”. [Online]. Tersedia: http://sihunkorean.blogspot.co.id/2014/11/cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga_56.html?m=1. Diakses pada 2 November 2017, pada pukul 22.02 WIB.
- b. Prasetijo, Hari. Ropiudin. Dharmawan, Budi. (2012). Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah. Dinamika Rekayasa Vol. 8 No. 2.
- c. Arduino. (2017). Getting Started with Arduino and Genuino UNO. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno>. Diakses pada 26 September 2017 pada pukul 00.55 WIB.
- d. Dutta, Ananya. Barua, Niloy. Saha, Aninda. (2016). Design of an Arduino based Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controller. A Thesis Submitted to the Department of Electrical and Electronic Engineering Of BRAC University.
- e. Rashid, Muhammad H. (2001). POWER ELECTRONICS HANDBOOK. A Harcourt Science and Technology Company 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495, USA.
- f. Hidayat, Suryono Mochamad. (2010). Rancang Bangun Buck Boost konverter. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- g. Bangun, Baberman Didius. (2017). Rancang Bangun Inverter Sinus Murni DC ke AC Berdaya Rendah Berbasis Mikrokontroler Atmega328. Skripsi Sarjana. Universitas Sumatra Utara.
- h. EMRG. Battery care. [online]. http://www.emrg.ca/battery_care.htm. Diakses pada 28 November 2018. Diakses pada 23.23 WIB.
- i. Belajar_Listrik. (2011). Sensor Arus. http://hge-nius-electrical_eng.blogspot.com/2011/03/sensor-arus.html?m=1. Diakses 20 November 2017, pada pukul 20.43 WIB.