

VOLUME 8 | NOMOR 1 | APRIL 2022

p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA

B O R N E O



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

p-ISSN 2443-0986
e-ISSN 2685-001X

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 8, Nomor 1, April 2022

Ketua Redaksi
(Editor-in-Chief)

Fitriani Said, S.T., M.T.

Dewan Redaksi
(Editorial Board)

Dr. Eng. Linda Sartika, S.T., M.T.

Abdul Muis Prasetya, S.T., M.T.

Abil Huda, S.T., M.T.

Asisten Redaksi
(Editorial Assistant)

Hendra, S.T.

Alamat Redaksi
(Address)

**Gedung D Lantai 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan
Jalan Amal Lama No. 1, Tarakan, 77123
Kalimantan Utara, Indonesia**



Diterbitkan oleh:
Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan

ELEKTRIKA BORNEO

Volume 8, Nomor 1, April 2022

DAFTAR ISI

1. Kombinasi Variable Trasformator dan Trafo Centre Tap Sebagai Regulator Tegangan AC 1 Fhasa
Hermansyah dan Alamsyah Achmad 1 – 4
2. Peningkatan Performa Baterai Air Laut Menggunakan Cu-Zn Berdasarkan Luas Penampang Elektroda
Irfan dan Abdul Muis Prasetia 5 – 9
3. Studi Kebutuhan Kapasitor Bank pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan Menggunakan Software Simulink
Ariansyah Nur dan Achmad Budiman..... 10–15
4. Pengaruh Variasi Penambahan Lapisan Magnet dan Jarak Celah Udara Rotor Terhadap Kinerja Motor Dc Magnet Permanen
Sri Kurniati dan Sudirman Syam 16–24
5. Kajian Potensi PLTMH Sungai Kalimantanng Desa Kayu Indah Untuk Kelistrikan Pedesaan Kecamatan Batu Putih Kabupaten Berau
Blasius Selly Ngama dan Fitriani Said 25–28

Kombinasi Variable Trasformator dan Trafo Centre Tap Sebagai Regulator Tegangan AC 1 Fasa

Hermansyah¹, Alamsyah Achmad²

¹ Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Bantaeng, Sulawesi Selatan, Indonesia

² Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

¹ anchaogi.hp@gmail.com

Abstract—The 1 phase AC voltage regulator is made to be used as a supporting tool in carrying out various kinds of tests that require varying voltages according to the needs of the tests that are usually carried out and are used to supply loads that require a constant voltage. However, not all existing voltage regulators are able to provide multilevel voltage or a fixed voltage at a certain voltage level. Therefore this voltage regulator is made to meet these needs. The method used in this research is the tool design method. The results of the tool test show that the regulator is capable of providing a supply voltage between 0-220 volts AC and a fixed voltage of 110 volts AC, and 25 volts AC

Keywords— Regulator, AC voltage, 1 phase, multilevel voltage.

Intisari—Regulator tegangan AC 1 fasa dibuat untuk digunakan sebagai alat pendukung dalam melakukan berbagai macam pengujian yang membutuhkan tegangan yang berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan pengujian yang biasa dilakukan dan digunakan untuk menyuplai beban yang membutuhkan tegangan yang tetap. Namun tidak semua regulator tegangan yang ada mampu memberikan tegangan multilevel maupun tegangan yang tetap pada level tegangan tertentu. Oleh karena itu regulator tegangan ini dibuat untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode rancang bangun alat. Hasil dari pengujian alat menunjukkan bahwa regulator yang dibuat mampu memberikan suplai tegangan antara 0-220 volt AC dan tegangan tetap 110 volt AC, dan 25 volt AC.

Kata Kunci—Regulator, Tegangan AC, 1 Fasa, Multilevel Tegangan.

I. PENDAHULUAN

Teknologi dan ilmu pengetahuan saat ini semakin berkembang dengan pesat termasuk ilmu pengetahuan dibidang listrik industri. Salah satu alat pendukung untuk berbagai macam pengujian skala kecil adalah Regulator tegangan AC yang dapat diatur luarannya dengan frekuensi tetap.

Regulator AC digunakan untuk mengendalikan tegangan rms output. Pemanfaatan regulator AC ini adalah untuk kendali kecepatan motor, dimmer lampu, pengatur suhu pemanas dan sebagainya.

Peinelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat regulator AC dengan tegangan keluaran yang tetap serta tegangan yang bervariasi yaitu 110 Volt, 25 volt dan 0-220 Volt. Dari level tegangan yang dihasilkan tentu memberi kemudahan dalam melakukan berbagai macam pengujian. Regulator yang dibuat merupakan alat

pendukung untuk berbagai macam keperluan pengukuran dan pengambilan data beban.

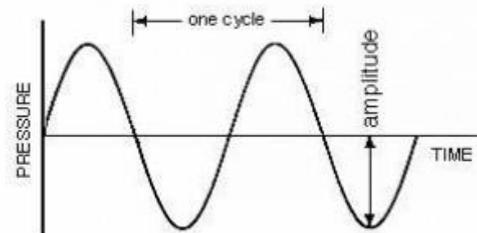
II. LANDASAN TEORI

A. Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya membahas tentang regulator tegangan AC dengan mengubah tegangan DC menjadi AC. Penelitian tersebut menggunakan metode pensaklaran dengan menggunakan komponen SCR sehingga menghasilkan tegangan AC yang variable. Namun metode tersebut hanya cocok digunakan pada lingkungan yang jauh dari sumber listrik PLN. Disamping itu gelombang tegangan AC yang dihasilkan tidak murni gelombang sinusoidal, akan tetapi masih terdapat cacat gelombang yang bisa menyebabkan kerusakan pada beban jika penggunaan dalam jangka waktu yang lama.

B. Tegangan AC

Tegangan AC merupakan jenis tegangan listrik yang arah dan besarnya berlangsung bolak-balik dan berubah-ubah. Jika diamati dengan menggunakan siloscope, bentuk gelombangnya berbentuk sinusoida seperti yang ditampilkan pada Gambar.1 berikut ini:



Gambar.1 Gelombang Tegangan AC

C. Variable Transformator

Trafo jenis ini pada bagian tengahnya dapat diubah yang memungkinkan perubahan pada bagian lilitan primer dan sekundernya. [3] [4]. Variable transformator pada umumnya dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan output mulai dari 0-220 Volt AC. Aplikasi dari variable transformator AC biasanya digunakan untuk memberikan suplai tegangan pada beban yang membutuhkan tegangan yang berubah-ubah misalnya pada pengaturan kecepatan motor listrik 1 fasa, pengujian beban skala lab dll. [2]. Contoh variable transformator yang dimaksud disajikan pada Gambar.2 berikut ini:



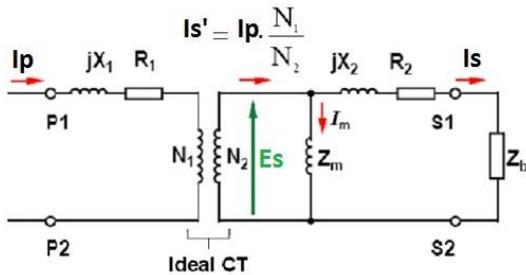
Gambar.2 Variable transformator

D. Trafo Centre Tap

Fungsi trafo *Centre Tap* adalah untuk membuat rangkaian power supply simetris gelombang penuh yang memakai kutub positif, netral, dan negatif. Prinsip kerja dari trafo adalah sebagai berikut:

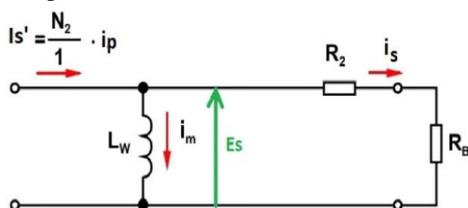
1. Pada saat arus primer I_p mengalir pada lilitan primer, maka akan muncul medan magnet disekeliling lilitan primer tersebut.
2. Medan magnet tersebut akan terkumpul lebih banyak pada inti atau core. Medan magnet yang berputar di dalam inti atau core menghasilkan perubahan flux primer dan memotong lilitan sekunder sehingga menginduksikan tegangan pada lilitan sekunder sesuai hukum faraday.
3. Karena lilitan sekunder membentuk loop tertutup, maka akan mengalir arus sekunder I_s yang akan membangkitkan medan magnet untuk melawan flux magnet yang dihasilkan oleh belitan primer sesuai hukum lenz.

Gambar.3 berikut ini menampilkan model diagram listrik dari trafo *centre tap*.



Gambar.3 Diagram listrik trafo *centre tap*

Dengan N_1 dan N_2 adalah jumlah lilitan primer. Z_m adalah impedansi untuk magnetisasi. E_s adalah tegangan induksi pada sisi sekunder JX_1 dan JX_2 adalah reaktansi bocor dikedua sisi dari trafo. Karena nilainya kecil, maka bisa kita hilangkan dalam perhitungan. Karena impedansi primer dan reaktansi bocor bisa diabaikan, maka model diagram listrik dari trafo arus yang lebih sederhana ditunjukkan pada Gambar.4 berikut ini:



Gambar.4 Diagram sederhana dari trafo *centre tap*

Dari Gambar.4 diatas terlihat bahwa arus sekunder I_s yang mengalir pada beban mengalami perubahan karena adanya arus eksitasi yang diperlukan untuk menjamin terlaksananya proses transformasi. Dari gambaran diatas, terlihat bahwa tidak semua arus primer akan terduplikasi disisi kumparan sekunder. Akan tetapi dibutuhkan suatu arus eksitasi I_m agar proses reproduksi arus sekunder dapat terjadi. Dengan demikian, apabila arus eksitasi I_m atau I_e kita masukan dalam formulasi, besarnya arus sekunder menjadi [1] [5]:

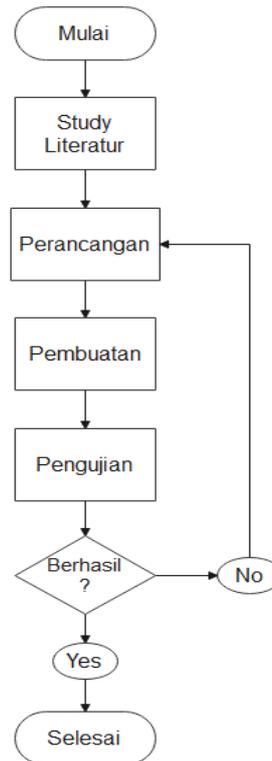
$$I_s = \frac{NP}{NS} \times I_p - I_e \tag{1}$$

Dimana I_e adalah arus eksitasi yang dibutuhkan agar proses reproduksi arus sekunder dapat terjadi. Karena Arus eksitasi tidak dapat diabaikan, maka proses reproduksi arus sekunder akan mengalami kesalahan dan biasa disebut sebagai kesalahan transformasi (*transformation error*). Selain daripada itu, akan terjadi juga pergeseran fasa. Kesalahan pada fasa biasa disebut sebagai pergeseran fasa [5].

III. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

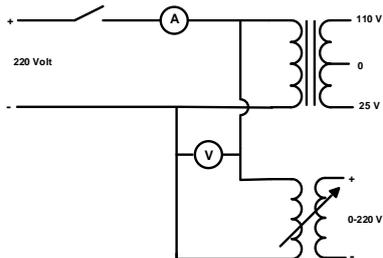
Secara umum tahapan penelitian rancang bangun tertuang dalam Gambar.5. Penelitian dimulai dengan mencari literatur yang berhubungan dengan topik penelitian yang akan dilaksanakan. Dari hasil literatur dilakukan perancangan alat, dan dari hasil perancangan alat maka dilakukan pembuatan alat kemudian dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan 2 tahap yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan menggunakan beban 1 fhasa.



Gambar 5. Alur Penelitian

B. Rancangan Alat yang Dibuat

Gambar.6 berikut menampilkan rancangan dari alat yang dibuat yaitu regulator tegangan AC 1 fasa menggunakan variable transformator dan trafo *centre tap*.



Gambar 6. Rangkaian Regulator Tegangan AC 1 fasa

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar.7 menampilkan hasil akhir dari alat yang telah dirancang dan dibuat. Pengujian alat ini dilakukan dengan menggunakan dua tahapan, yaitu dengan pengujian berbeban dan pengujian beban nol.



Gambar .7 Regulator Tegangan AC 1 Fasa

C. Pengujian Berbeban

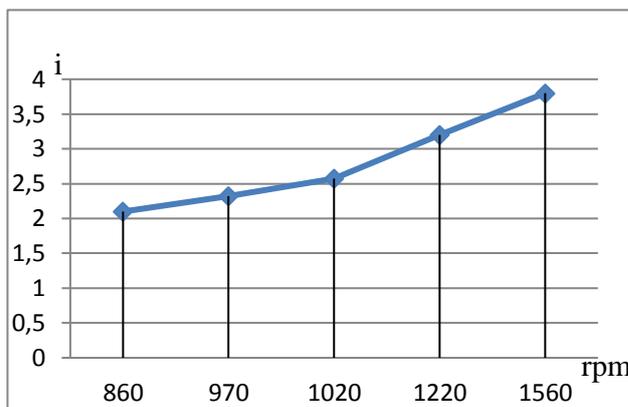
Pada pengujian alat dengan menggunakan beban, digunakan motor 1 phase dan lampu 100 watt sebagai beban uji coba. Pengujian menggunakan beban motor listrik 1 fasa 1.5 HP dan lampu 100 watt dilakukan secara terpisah. Tabel 1 menampilkan hasil ujicoba alat menggunakan beban motor listrik 1 fasa dan Tabel 2 menampilkan hasil ujicoba alat menggunakan beban lampu 100 watt

Tabel 1

Data Ujicoba Alat Dengan Menggunakan Motor 1 Phase Sebagai Beban

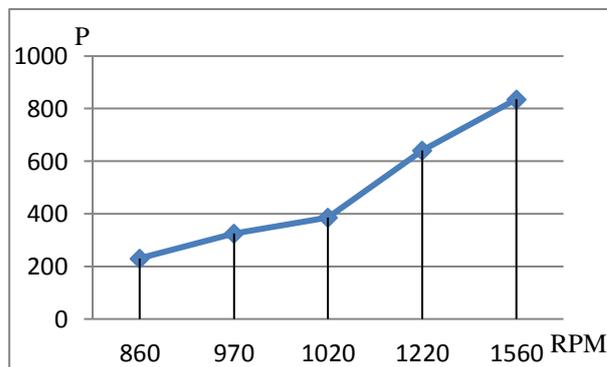
NO	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	RPM
1	110	2,1	231	860
2	140	2,32	324,8	970
3	150	2,57	385,5	1020
4	200	3,20	640	1220
5	220	3,80	836	1560

Gambar.8 menampilkan karakteristik dari perubahan tegangan (V) berbanding lurus terhadap arus (I) dimana semakin tinggi tegangan yang diberikan pada motor maka arus motor akan semakin bertambah.



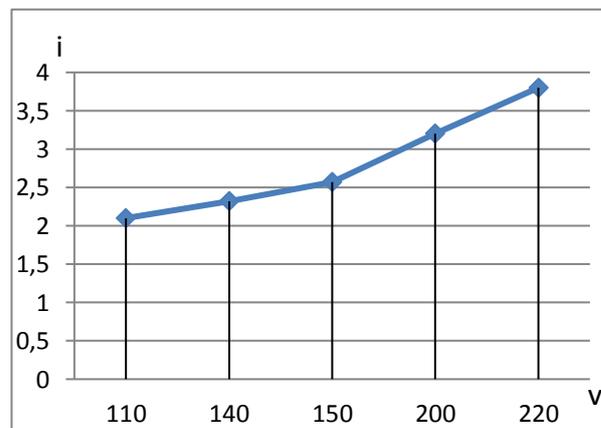
Gambar.8 Grafik karakteristik Arus (i) terhadap Tegangan (v)

Gambar.9 menampilkan karakteristik dari perubahan Daya (Watt) berbanding lurus terhadap jumlah putaran permenit (rpm) dimana semakin tinggi daya motor maka putaran motor akan semakin bertambah.



Gambar.9 Grafik karakteristik Daya (Watt) terhadap putaran motor (rpm)

Gambar.10 Menampilkan karakteristik dari perubahan Arus(I) berbanding lurus terhadap jumlah putaran permenit (rpm) dimana semakin tinggi arus yang diserap maka putaran motor akan semakin bertambah.



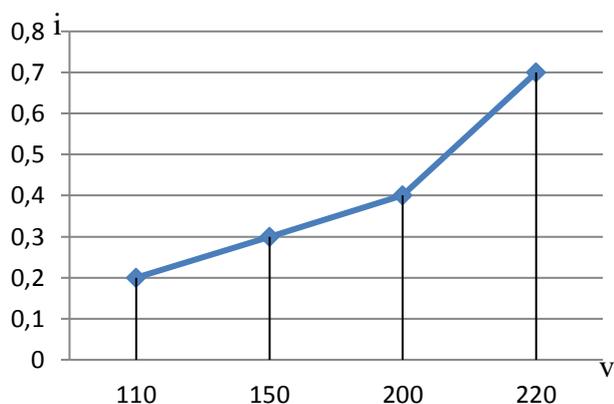
Gambar.10 Grafik karakteristik Arus (I) terhadap putaran motor (rpm)

Tabel 2

Data hasil uji coba alat dengan menggunakan beban lampu 100 Watt

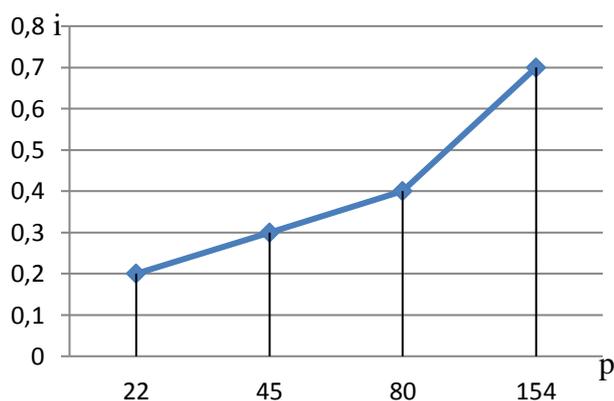
NO	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
1	110	0,2	22
2	150	0,3	45
3	200	0,4	80
4	220	0,7	154

Gambar.11 menampilkan karakteristik dari perubahan Arus berbanding lurus terhadap tegangan, dimana semakin tegangannya maka semakin tinggi arusnya.



Gambar.11 Grafik karakteristik arus terhadap tegangan

Gambar.12 menampilkan karakteristik perubahan arus terhadap daya, bahwa semakin besar arus yang diserap, maka semakin besar pula dayanya.



Gambar.12 Grafik karakteristik Arus terhadap Daya

D. Pengujian Beban Nol

Pengujian selanjutnya adalah pengujian beban Nol. Tabel 3 berikut ini menampilkan hasil pengujian beban nol atau pengujian tanpa menggunakan beban.

Tabel 3
Hasil Pengujian Beban Nol

NO	Tegangan Input (Volt)	Tegangan Output (Volt)
1	220	110
		25
2	220	0-220

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variable transformator dapat dikombinasikan dengan trafo centre tap untuk membuat regulator tegangan dengan keluaran tegangan yang tetap dan bervariasi.
2. Pada pengujian pertama dengan menggunakan motor 1 phase dapat disimpulkan berdasarkan data yang telah didapatkan yaitu semakin besar tegangan yang diberikan, maka akan membuat putaran motor semakin cepat kemudian arus dan daya yang digunakan akan semakin besar pula.
3. Pada pengujian kedua dengan menggunakan lampu 100 watt sebagai beban dan dapat disimpulkan bahwa berdasarkan data yang telah didapatkan yaitu, tegangan akan berbanding lurus dengan arus dan daya, semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka semakin besar arus dan daya yang digunakan.
4. Selanjutnya dilakukan uji coba beban nol. Karena pengujian tidak menggunakan beban maka data yang di dapatkan adalah perbandingan tegangan input dan output pada alat.

REFERENSI

- [1] Chapman, S.J., (1985), "Electric Machinery Fundamentals", Singapore : McGraw-Hill, Inc
- [2] Dewi, Arif, Hanif, Lubis, (2015), "Regulator AC 1 fasa Gelombang Penuh Terkendali" Padang, Universitas Negeri Padang.
- [3] Ong, C.M., (1998), "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall, New Jersey
- [4] Syahril, D., (2004), "Perancangan automatic voltage regulator", Bandung, Institut Teknologi Nasional
- [5] Suhindra, A., (2004), "Simulasi automatic voltage regulator", Bandung, Institut Teknologi Nasional
- [6] S. Zhang, C. Zhu, J.K.O. Sin, dan P.K.T. Mok, "A Novel Ultrathin Elevated Channel Low-temperature Poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, Vol. 20, hal. 569-571, Nov. 1999.
- [7] M. Wegmuller, J.P. von der Weid, P. Oberson, dan N. Gisin, "Highresolution Fiber Distributed Measurements with Coherent OFDR," *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, hal. 109.
- [8] R.E. Sorace, V.S. Reinhardt, dan S.A. Vaughn, "High-speed Digital-to-RF Converter," U.S. Patent 5 668 842, 16 Sep. 1997.

Peningkatan Performa Baterai Air Laut Menggunakan Cu-Zn Berdasarkan Luas Penampang Elektroda

Irfan¹, Abdul Muis Prasetia²

^{1,2,3}Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

¹e-mail.Irfan.kaka54@gmail.com

²e-mail.prasetia.electric@gmail.com

Abstract-Seawater in Indonesia has considerable potential when used as a source of renewable energy. As it is known that sea water generally contains elements or levels of salt dissolved in it. Due to the presence of these elements or levels of salt, seawater has the potential to produce electrical energy. This is the reason why researchers want to do more in-depth research on this seawater battery. As it is known that several previous studies have conducted experiments using different methods in each research conducted. In this study, we will use several methods that have been there previously aimed at getting an increase in electrical energy that will be generated from marine batteries. This study uses a cross-section of electrodes in the form of copper and zinc by comparing several methods to get a seawater battery design that suits your needs. In this study, the seawater battery used pure seawater and without using an amplifier circuit or voltage booster. With a voltage that can be generated in each 1 cell, which is between 0.78 V and 0.82 V. Overall, this seawater battery has 10 cells arranged in series with each 1 cell consisting of 5 pairs of copper and zinc electrodes arranged in parallel.

Keywords-Electrolytes, Salt Water, Electrode Cells, Voltaic Cells

Intisari-Air laut yang ada di Indonesia memiliki potensi yang cukup besar apabila dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Sebagaimana diketahui bahwa air laut pada umumnya mengandung unsur atau kadar garam yang terlarut didalamnya. Karena adanya unsur atau kadar garam tersebut menyebabkan air laut dapat berpotensi menghasilkan energi listrik. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa peneliti ingin melakukan penelitian yang lebih mendalam lagi mengenai baterai air laut ini. Seperti yang diketahui bahwasanya beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan percobaan dengan menggunakan metode yang berbeda pada setiap penelitian yang dilakukan. Pada penelitian ini akan menggunakan beberapa metode yang telah ada sebelumnya bertujuan untuk mendapatkan peningkatan energi listrik yang akan dihasilkan dari baterai laut. Penelitian ini menggunakan penampang elektroda berupa tembaga dan seng dengan melakukan perbandingan dari beberapa metode untuk mendapatkan desain baterai air laut yang sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian ini baterai air laut menggunakan air laut murni dan tanpa menggunakan rangkaian penguat ataupun penaik tegangan. Dengan tegangan yang dapat dihasilkan pada setiap 1 selnya yaitu antara 0.78 V dan 0.82 V. Secara keseluruhan pada baterai air laut ini terdapat 10 sel yang disusun secara seri dengan bagian pada setiap 1 selnya terdiri dari 5 pasang elektroda tembaga dan seng yang disusun secara paralel.

Kata Kunci-Elektrolit, Air Asin, Sel Elektroda, Sel Volta

I. PENDAHULUAN

Ada beberapa energi baru terbarukan saat ini yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Seperti contoh energi matahari yang bisa dikonversikan menjadi sebuah energi listrik dengan memanfaatkan panel surya (*photo voltage*). Energi angin yang bisa dikonversikan menjadi sebuah energi listrik dengan memanfaatkan turbin angin (*wind turbine*). Pergerakan pasang surut air laut yang dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin air (*water turbine*). Energi panas bumi dan beberapa yang memanfaatkan Tumbuh-tumbuhan serta air garam (*salt water*) dan air laut (*sea water*) Sebagai sumber energi baru terbarukan.

seperti penelitian yang dilakukan oleh [7] Yang melakukan perbandingan dari masing-masing pasangan elektroda Al-Cu, Zn-Cu, Gal-Cu. Dari hasil perbandingan setiap pasangan elektroda tersebut didapatkan pasangan elektroda yang mampu menghasilkan energi listrik paling baik adalah pasangan elektroda Zn-Cu dan Gal-Cu. Dan pada penelitian [6] yang melakukan perbandingan luas penampang antara elektroda Cu dan Elektroda Zn

Berdasarkan pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, ada keinginan peneliti untuk melakukan kombinasi pada beberapa metode yang telah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya guna dapat memaksimalkan kinerja dari penelitian baterei air laut yang akan dilakukan, agar kedepannya penelitian ini bisa dijadikan sebagai alternatif sumber energi listrik terutama bagi penduduk bertempat tinggal didaerah pesisir pantai yang belum terjangkau oleh jaringan listrik.

II. LANDASAN TEORI

A. Elektrolit

Elektrolit merupakan sebuah zat yang terlarut atau terurai ke dalam bentuk lainnya yang disebut ion-ion lalu kemudian setelah itu berubah menjadi suatu konduktor elektrik, ion-ion merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Elektrolit tersebut bisa berupa sebuah air, asam, basa ataupun berupa sebuah senyawa kimia lainnya. Pada umumnya elektrolit berbentuk asam, basa ataupun garam. Pada beberapa gas tertentu dapat juga berfungsi sebagai elektrolit pada suatu kondisi tertentu, misalkan pada suhu tinggi ataupun tekanan rendah. Pada dasarnya elektrolit kuat sangat identik dengan yang namanya asam, basa, dan garam kuat.

B. Sel Volta

Sel volta merupakan sebuah reaksi kimia yang bersifat spontan dan dapat menghasilkan arus listrik. Dimana katoda sebagai kutub positif sedangkan anoda sebagai kutub negatif. Contoh: pada sebuah baterai dan accu. Adapun penemuan bahwa “reaksi kimia dapat menghasilkan energi listrik”. berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan Alessandro Volta. (1745-1827). Rangkaian suatu alat yang dapat menghasilkan sebuah arus listrik dari proses reaksi kimia yang sedang berlangsung dapat disebut juga sebagai sel volta. Terjadinya proses reaksi kimia tersebut apabila terjadi reaksi redoks yang berlangsung spontan. “Sel volta mempunyai elektroda logam yang dicelupkan ke dalam larutan garamnya.” berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan oleh Luigi Galvani. (1737-1798).

C. Sel Elektrokimia

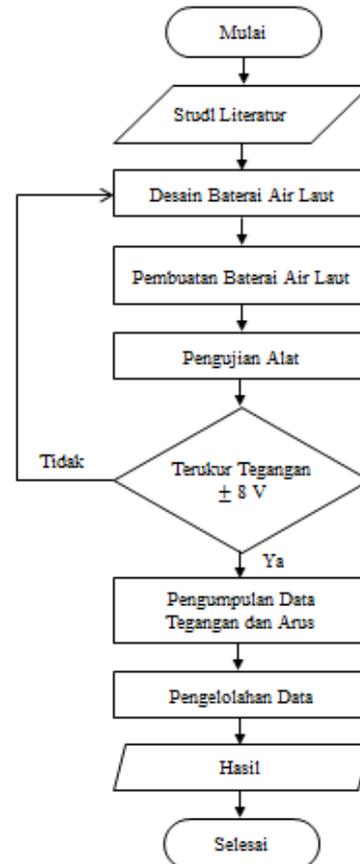
Sel elektrokimia merupakan suatu sistem yang digunakan agar dapat terjadinya perubahan yang sering disebut reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Dimana dari perubahan tersebut dapat menghasilkan listrik dengan melalui pelepasan suatu elektron dari satu elektroda (oksidasi) dan penerimaan suatu elektron pada elektroda lainnya (reduksi). Besarnya daya listrik yang dapat dihasilkan dan juga hambatan yang terdapat pada bahan sangat ditentukan oleh mineral elektrolit yang terkandung didalam cairan pengisi sel elektrokimia. Pada Sel elektrokimia sendiri memiliki dua penampang yang digunakan sebagai penghantarnya yaitu katoda dan anoda.

III. METODE PENELITIAN

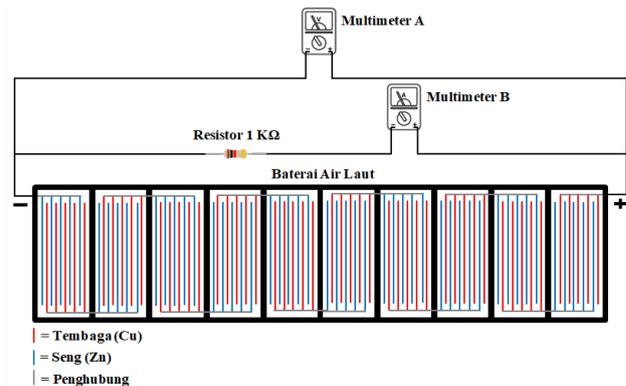
Dalam melakukan penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang berawal dari desain sampai pada tahap pengujian pada baterai air laut,

Seperti tampak pada Gambar. 1 flowchart atau alur penelitian yang menjelaskan bahwa langkah pertama adalah studi literatur. Kemudian menentukan desain dari baterai air laut. selanjutnya pembuatan alat, lalu melakukan pengujian yaitu pengukuran tegangan dan arus dengan menggunakan sebuah beban resistor 1 k Ω .

Adapun tampak pada Gambar. 2 yaitu prosedur percobaan yang menunjukkan prosedur pengujian alat yaitu dengan menyiapkan terlebih dahulu sel elektroda tembaga (katoda) dan sel elektroda seng (anoda) menjadi satu sel yang dimana setiap satu selnya terdiri dari lima susun atau lapis masing-masing elektroda yang dirangkai paralel pada setiap satu selnya. Kemudian antara sel satu dengan sel lainnya lainnya dihubungkan secara seri, begitu seterusnya sampai tersusun sepuluh sel. Setelah itu air laut dimasukan ke dalam setiap sekat secara merata. Kemudian dilakukan pengukuran tegangan dan arus, dan juga daya tahan dari alat tersebut dengan melakukan pengukuran menggunakan sebuah beban yang berupa resistor dengan nilai 1 K Ω .



Gambar 1. Flowchart Penelitian



Gambar 2. Prosedur Percobaan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini terdapat 2 tahapan dalam proses pengambilan data, yaitu pada tahap pertama menentukan terlebih dahulu desain dari elektroda yang akan digunakan dengan melakukan perbandingan - perbandingan dari beberapa metode yang ada. Seperti perbandingan jumlah pasangan elektroda dalam satu sel, perbandingan jarak antara elektroda dalam satu sel, dan perbandingan luas penampang elektroda dalam satu selnya. setelah data didapatkan selanjutnya masuk tahap kedua, yaitu pengambilan data dengan menggunakan 3 sampel air laut yang berbeda.

Berikut adalah tahapan pertama yang dilakukan yaitu dengan menentukan berapa pasang sel elektroda tembaga dan seng yang akan digunakan dalam setiap selnya berdasarkan perbandingan jumlah pasangan elektroda.

Tabel 1
Data Hasil Percobaan Jumlah Pasangan Sel Elektroda

Jumlah Elektroda	Tegangan (V)		Arus (mA) Beban R 100 Ω
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
1 Pasang	0.80	0.31	3.2
2 Pasang	0.80	0.31	3.2
3 Pasang	0.79	0.31	3.2
4 Pasang	0.79	0.34	3.5
5 Pasang	0.79	0.36	3.7
6 Pasang	0.78	0.34	3.5

Berdasarkan tabel data diatas diketahui nilai tegangan tanpa beban tertinggi yaitu 0.80 V, terdapat pada satu pasang dan dua pasang sel elektroda, sedangkan nilai tegangan dengan pemberian beban resistor 100 Ω , didapati nilai tegangan tertinggi yaitu 0.36 V, terdapat pada lima pasang sel elektroda. Adapaun nilai arus tertinggi yang didapat yaitu 3.7 mA, terdapat pada 5 pasang sel elektroda. Berdasarkan data yang sudah didapatkan maka peneliti memilih untuk menggunakan 5 pasang elektroda pada setiap satu sel.

Berikut merupakan percobaan untuk menentukan jarak antara setiap elektroda tembaga dan seng yang akan digunakan dengan melakukan perbandingan jarak kerapatan.

Tabel 2
Data Hasil Percobaan Pengukuran Jarak Elektroda

Jarak Elektroda	Tegangan (V)		Arus (mA) Beban R 100 Ω
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
0.25 mm	0.80	0.39	4
0.50 mm	0.78	0.46	4.7
0.75 mm	0.79	0.48	4.9
1 mm	0.79	0.47	4.8
1.25 mm	0.79	0.47	4.8
1.50 mm	0.79	0.47	4.8

Berdasarkan tabel data diatas diketahui nilai tegangan tanpa beban, yang tertinggi yaitu 0.80 V, terdapat pada jarak 0.25 mm dan nilai tegangan dengan beban resistor 100 Ω , yang tertinggi yaitu 0.48 V, terdapat pada jarak 0.75 mm. adapun untuk nilai arus tertinggi yaitu sebesar 4.9 mA ada pada jarak 0.75 mm. dapat diketahui bahwa jarak antara elektroda yang akan digunakan yaitu adalah 0.75 mm atau sama dengan 3 lapis kain kertas pada setiap lapisan elektroda.

Berikut adalah percobaan untuk menentukan ukuran dari setiap penampang elektroda yang akan digunakan dengan melakukan perbandingan luas penampang elektroda

Tabel 3
Data Hasil Percobaan Pengukuran Luas Penampang Elektroda

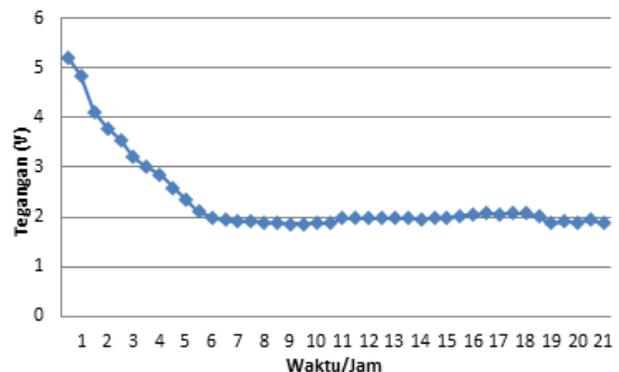
Luas Penampang (P x L) cm^2	Tegangan (V)		Arus (mA) Beban R 100 Ω
	Tanpa Beban	Dengan Beban	
5.5 x 6.5 cm 35.75 cm^2	0.82	0.42	4.3
5 x 6 cm 30 cm^2	0.79	0.42	4.3
4.5 x 5.5 cm 24.75 cm^2	0.82	0.43	4.4
4 x 5 cm 20 cm^2	0.82	0.40	4
3.5 x 4.5 cm 15.75 cm^2	0.82	0.38	3.9

Berdasarkan tabel data diatas diketahui nilai tegangan tanpa beban yang tertinggi yaitu 0.82 V dan nilai tegangan tertinggi dengan beban resistor 100 Ω yaitu 0.43 V ada pada luas penampang 4.5 x 5.5 cm. adapun nilai arus tertinggi yaitu 4.4 mA. Berdasarkan data tersebut luas penampang yang akan digunakan yaitu 4.5 x 5.5 cm (24.75cm^2) pada setiap elektroda.

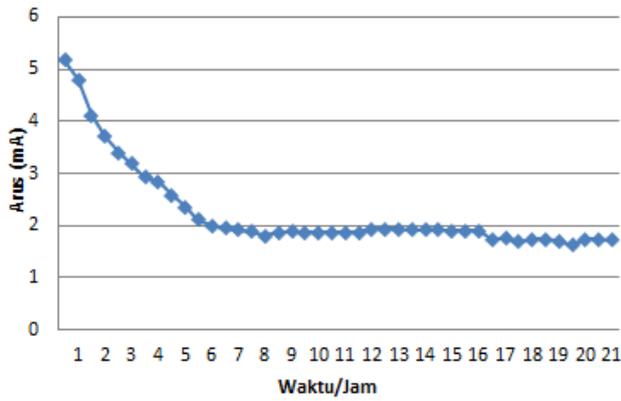
Berikut adalah tahapan kedua yaitu proses pengambilan data dengan menggunakan 3 sampel air laut yang berbeda dengan data yang meliputi nilai tegangan dan arus dari setiap sampel air laut.

1. Air Laut Pantai Amal

Nilai tegangan dan Arus setelah diberi sebuah beban resistor 1 k Ω akan mengalami penurunan yang cukup signifikan diawal saat diberi beban, yaitu dengan tegangan awal 8 V turun sampai pada tegangan 5.20 V dengan arus 5.17 mA. berikutnya mengalami penurunan lagi namun tidak signifikan diawal yaitu sampai pada tegangan 2 V dengan arus 2 mA. kemudian tegangan dan arus sudah terlihat stabil di tegangan 1.94 V dengan arus 1.95 mA sampai beberapa jam berikutnya. Nilai arus cenderung mengikuti nilai tegangan yang mengalami penurunan pada lima jam awal saat diberi beban resistor 1 k Ω . seperti pada gambar 3 dan 4 berikut yang merupakan bentuk kurva dari nilai tegangan dan nilai arus terhadap waktu, berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan,



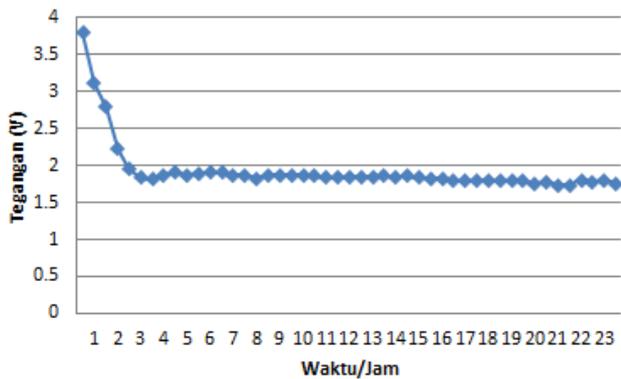
Gambar 3. Nilai Tegangan Terhadap Waktu



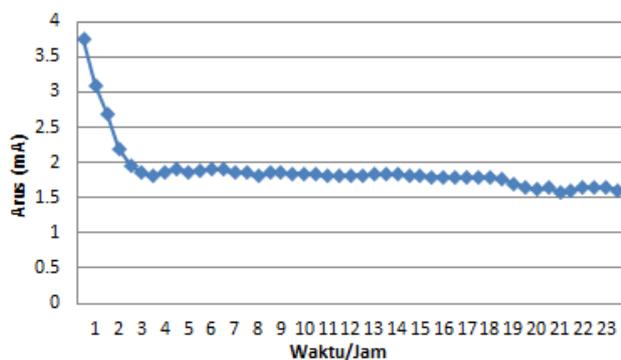
Gambar 4. Nilai Arus Terhadap Waktu

2. Air Laut Pasar Beringin

Pada sampel air laut pasar beringin nilai tegangan dan nilai arus setelah diberi sebuah beban resistor 1 kΩ akan mengalami penurunan yang sangat signifikan diawal saat diberi beban, yaitu dari 8 V turun sampai pada tegangan 3.80 V dengan arus 3.75 mA. kemudian tegangan dan arus mulai terlihat stabil pada tegangan 1.96 V dengan nilai arus 1.96 mA sampai pada beberapa jam berikutnya. diketahui nilai arus akan cenderung mengikuti nilai tegangan yang mengalami penurunan pada dua jam awal saat diberi beban resistor 1 kΩ. seperti pada gambar 5 dan 6 berikut yang merupakan bentuk kurva dari nilai tegangan dan nilai arus terhadap waktu, berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan.



Gambar 5. Nilai Tegangan Terhadap Waktu

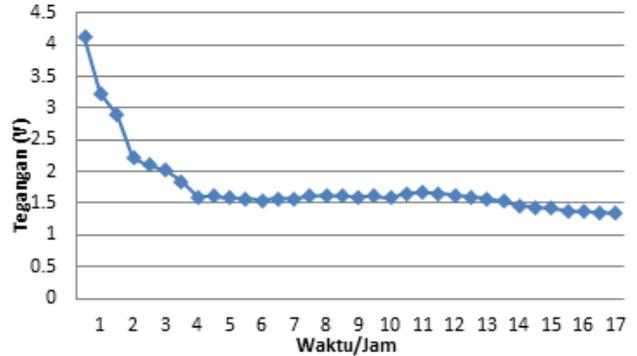


Gambar 6. Nilai Arus Terhadap Waktu

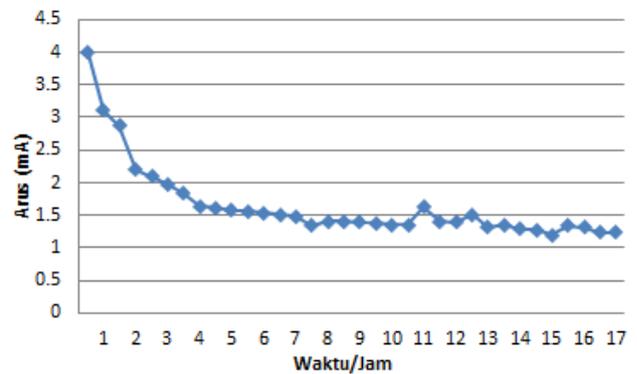
3. Air Laut Juata Laut

Diketahui nilai tegangan dan nilai arus setelah diberi sebuah beban resistor 1 kΩ mengalami penurunan yang cukup signifikan diawal saat diberi beban, yaitu dari 8 V

turun sampai pada 4.12 V dengan arus 3.99 mA, kemudian tegangan dan arus mulai terlihat stabil pada tegangan 1.60 V dengan arus 1.64 mA sampai beberapa jam berikutnya. diketahui nilai arus cenderung mengikuti nilai tegangan yang mengalami penurunan pada empat jam awal saat diberi beban resistor 1 kΩ. seperti pada gambar 7 dan 8 yang merupakan bentuk kurva dari nilai tegangan dan nilai arus terhadap waktu, berdasarkan data hasil percobaan yang telah dilakukan.



Gambar 7. Nilai Tegangan Terhadap Waktu



Gambar 8. Nilai Arus Terhadap Waktu

V. KESIMPULAN

Dari data hasil percobaan yang sudah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil sebuah kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil pengukuran pada sampel air laut pantai amal dengan menggunakan beban resistor 1 kΩ didapati tegangan awal yaitu 5.20 V dengan arus 5.17 mA. Untuk sampel air laut pasar beringin dengan beban resistor 1 kΩ didapati tegangan awal yaitu 3.80 V dengan arus 3.75 mA. sedangkan pada sampel air juata laut dengan beban resistor 1 kΩ didapati tegangan awal yaitu 4.12 V dengan arus 3.99 mA.
2. Perbedaan nilai yang didapatkan dari ketiga sampel air laut tersebut dikarenakan adanya perbedaan kualitas pada masing-masing sampel air laut yang digunakan. Semakin bersih kualitas air laut yang digunakan maka hasil yang didapatkan juga akan semakin baik.
3. Agar didapatkan daya tahan yang lebih lama lagi bisa dengan memperbesar volume atau ruang pada setiap selnya, sedangkan untuk meningkatkan nilai tegangan dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah sel dengan susunan seri antara sel satu dengan sel lainnya. Begitu juga untuk meningkatkan nilai arus dapat dilakukan dengan menambah susunan secara paralel

pada setiap sel atau dengan menambah luas ukuran penampang pada masing-masing elektroda dalam setiap satu sel-nya.

REFERENSI

- [1] Fariya, S. (2014). Seacell (Sea Water Electrochemical Cell) Pemanfaatan Elektrolit Air Laut Menjadi Cadangan Sumber Energi Listrik Terbarukan Sebagai Penerangan Pada Sampan. Working Paper.
- [2] Mujadin, A., & Rahmatia, S. (2017). *Joule Thief Sebagai Boost Converter Daya LED Menggunakan Sel Volta Berbasis Air Laut*. Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains Dan Teknologi, Vol. 4, No.2.
- [3] Suciyati, S., Warsito, A., Arif, Giri, & Gurum. (2018). *Karakterisasi Kelistrikan Air Payau Dan Air Sungai Sebagai Bahan Elektrolit*. Jurnal Fisika dan Aplikasinya.
- [4] Yulianti, D. (2016). Analisis Kelistrikan Sel Volta Memanfaatkan Logam Bekas. Skripsi.
- [5] Zikriana, L., & Hamid, A. (2017). *Perbandingan Tegangan Yang Diberi Larutan Garam Dengan Massa Yang Berbeda Untuk Menggerakkan Kipas Angin Sederhana*. Prosiding Seminar Nasional MIPA III.
- [6] Usman, M, A. (2017). Studi eksperimen menggunakan air garam sebagai sumber energi alternatif. Jurnal Mahasiswa Teknik Mesin.
- [7] Susanto, A. (2017). Seawater Battery with Al-Cu, Zn-Cu, Gal-Cu Electrodes for Fishing Lamp. International Journal of Renewable Energy Research

Studi Kebutuhan Kapasitor Bank pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan Menggunakan Software Simulink

Ariansyah Nur¹, Achmad Budiman²

^{1,2} Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia.

¹ari.syahn015@gmail.com

Abstract - PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan has equipment with a fairly large inductive load such as an electric motor as a tool for the shrimp freezing process. A large inductive load can cause a low power factor resulting in power losses. As prevention and treatment to avoid this incident, a reactive power compensation will be carried out by installing a capacitor bank. The capacitor bank is an arrangement of capacitor components that can be arranged in series or parallel which is the most commonly used in VAR compensator because this capacitor has the capacitive properties to compensate for the inductive nature of the load and serves to improve power factor. This study calculated the need for capacitor bank, determined the need for reactive power and the results of the installation of capacitor bank on the power factor by simulating the installation of capacitor bank with global compensation and Aurora Tarakan by using Simulink Matlab Software on the loads of MMA 1A, MMA 1B, MMA 1C, MMA 1D, and MMA 1E. The simulation result for the installation of the global Compensation $\cos \phi$ were obtained that MMA 1A was 0.94, MMA 1B was 0.96, MMA 1C was 0.96, MMA 1D was 0.95, and MMA 1E was 0.92, while the simulation result of the capacitor bank for the installation of Group Compensation were obtained that MMA 1A was 0.99, MMA 1B 0.99, MMA 1C 0.97, MMA 1D was 0.99, and MMA 1E was 0.93. Based on the simulation results carried out by capacitor bank installed in Group Compensation, it was found more efficient where the power factor results obtained from each MMA were of good value so that the emergence of reactive power was reduced.

Keywords : Power Factor, Capacitor Bank, Reactive Power, Simulink.

Intisari - PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan memiliki peralatan-peralatan dengan beban induktif yang cukup besar seperti pada motor listrik sebagai alat untuk proses pembekuan udang. Beban induktif yang besar dapat menyebabkan rendahnya faktor daya sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya, sebagai pencegahan dan penanganan untuk menghindari kejadian tersebut maka akan dilakukan kompensasi daya reaktif dengan pemasangan Kapasitor Bank. Kapasitor bank adalah susunan komponen kapasitor yang dapat disusun seri maupun paralel yang paling umum digunakan dalam kompensator VAR karena kapasitor memiliki sifat kapasitif untuk mengimbangi sifat induktif pada beban dan berfungsi untuk

perbaikan faktor daya. Dalam penelitian ini akan menghitung kebutuhan kapasitor bank, mengetahui kebutuhan daya reaktif dan hasil pemasangan kapasitor bank terhadap faktor daya dengan melakukan simulasi pemasangan kapasitor bank secara global compensation dan group compensation pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan menggunakan software Matlab Simulink pada beban MMA 1A, MMA 1B, MMA 1C, MMA 1D, dan MMA 1E. dari hasil simulasi pemasangan Global Compensation $\cos \phi$ yang di didapatkan adalah MMA 1A bernilai 0.94, MMA 1B bernilai 0.96, MMA 1C bernilai 0.96, dan MMA 1D bernilai 0.95, serta MMA 1E bernilai 0.92 dan hasil simulasi pemasangan kapasitor bank ketika dipasang secara Group Compensation adalah MMA 1A bernilai 0.99, MMA 1B bernilai 0.99, MMA 1C bernilai 0.97, dan MMA 1D bernilai 0.99, serta MMA 1E bernilai 0.93. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan kapasitor bank yang di pasang secara Group Compensation akan lebih efisien dimana hasil faktor daya yang didapatkan pada masing masing MMA bernilai baik sehingga kemunculan akan daya reaktif berkurang.

Kata Kunci : Faktor Daya, Kapasitor Bank, Daya Reaktif, Simulink

I. PENDAHULUAN

PT. Mustika Minanusa Aurora, Tarakan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di Industri pembekuan udang, adapun produk olahan yang di proses diantaranya dalam bentuk head on (udang utuh), head less (udang tanpa kepala) dan peeled (udang tanpa kepala dan kulit). Udang sebagai salah satu produk konsumsi yang sangat dibutuhkan keberadaannya karena keinginan untuk konsumsi udang yang mengandung banyak protein dan vitamin yang dapat mencerdaskan kehidupan bangsa semakin dirasakan.

Pengoperasian PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan memiliki peralatan-peralatan dengan beban induktif yang cukup besar seperti pada motor listrik sebagai alat untuk proses pembekuan udang. Beban induktif yang besar dapat menyebabkan rendahnya faktor daya sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan. Rugi-rugi daya tersebut akan membuat biaya operasional perusahaan meningkat dikarenakan pemakaian listrik yang berlebihan. Rugi-rugi daya yang besar juga dapat menyebabkan jatuh tegangan pada sisi beban sehingga memperpendek umur peralatan. Sebagai pencegahan dan penanganan untuk menghindari kejadian tersebut maka

akan dilakukan kompensasi daya reaktif dengan pemasangan Kapasitor Bank.

Kapasitor Bank adalah sebuah komponen listrik yang dapat dihubungkan secara seri maupun paralel. Kapasitor Bank ini digunakan untuk memperbaiki faktor daya dengan memberikan kompensasi daya reaktif dari peralatan atau beban induktif serta memperbaiki kualitas mutu tegangan pada sisi beban. Pemasangan kapasitor bank dilakukan untuk menghindari rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan

II. IANDASAN TEORI

A. Daya Listrik

Daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha di dalam sistem tenaga listrik. Satuan untuk daya listrik umumnya adalah Watt. Daya pada suatu sistem tegangan bolak-balik (AC) dikenal dengan tiga macam yaitu daya aktif (nyata) dengan simbol (P) satuannya adalah *Watt* (W), daya reaktif dengan simbol (Q) satuannya adalah *Volt Ampere reaktif* (VAr) dan daya semu dengan simbol (S) satuannya adalah *Volt Ampere* (VA) (Cekdin, 2013).

B. Segitiga Daya

Segitiga daya adalah sketsa dari daya kompleks, daya reaktif dan daya aktif., sketsa dari segitiga daya yang bersifat induktif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ° . Untuk sketsa dari segitiga daya yang bersifat kapasitif dengan sudut antara daya kompleks dan daya aktif adalah θ° .

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \quad (3)$$

C. Faktor Daya

Faktor daya merupakan besaran yang menunjukkan seberapa efisien jaringan menyalurkan daya yang dapat dimanfaatkan. Semakin besar daya reaktif maka akan meningkatkan sudut dan faktor daya akan semakin rendah sehingga menyebabkan kerugian daya. Faktor daya dibagi menjadi dua yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) yaitu arus tertinggal terhadap tegangan terdapat pada beban yang bersifat induktif dan faktor daya mendahului (*leading*) yaitu arus mendahului tegangan yang terdapat pada beban yang bersifat kapasitif.

Faktor daya merupakan *cosinus* dari beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \varphi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1 maka nilai faktor daya akan semakin baik. Besar daya semu dan daya reaktif pada faktor daya kondisi pertama adalah:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Atau

$$S_1 = \frac{P}{PF_1} = \frac{P}{\cos \varphi_1} \quad (5)$$

Dan

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (6)$$

Daya semu dan daya reaktif pada faktor daya untuk perbaikan adalah:

$$S_2 = \frac{P}{PF_2} = \frac{P}{\cos \varphi_2} \quad (7)$$

$$Q_k = Q_1 - Q_2 = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (8)$$

D. Kapasitor Bank

Kapasitor Bank adalah peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif yang berfungsi untuk mengimbangi sifat induktif atau sekumpulan beberapa kapasitor yang dihubungkan secara seri maupun paralel untuk mendapatkan kapasitas kapasitif yang akan digunakan. Kapasitas kapasitor dari ukuran 5kVAr sampai 60kVAr. Untuk suatu besaran kapasitor yang sering dipakai adalah kVAr meskipun di dalam kVAr terkandung atau tercantum besaran kapasitas yaitu Farad atau *microfarad* (μF).

Kapasitor Seri merupakan kapasitor yang terpasang seri dengan saluran. Penggunaan kapasitor seri untuk mengompensasi reaktansi induktif. Kapasitor Pararel merupakan kapasitor yang terpasang secara pararel dengan saluran, dan sering diterapkan pada sistem distribusi karena dapat mengatasi jatuh tegangan, mengurangi rugi-rugi daya, dan memperbaiki nilai faktor daya, serta mudah diterapkan sistem proteksi. Penggunaan kapasitor pararel dapat memberikan kompensasi daya reaktif kepada beban. Besar nilai kapasitor yang diperlukan pada sistem 3 fasa adalah:

$$I_L = \frac{Q_C}{\sqrt{3} V_{L-L}} \quad (9)$$

$$I_C = \frac{I_L}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

$$X_C = \frac{V_{L-L}}{I_C} \quad (11)$$

$$C = \frac{10^6}{2\pi f X_C} \quad (12)$$

Ada Beberapa bentuk metode pemasangan Kapasitor Bank kapasitor bank yaitu global compensation, group compensation, dan individua.

III. METODELOGI PENELITIAN

Studi Literatur merupakan tahapan awal yang dilakukan yaitu dengan cara membaca dan mempelajari buku-buku, karya ilmiah, jurnal maupun sumber lain dari internet yang berkaitan dengan tema penelitian, kemudian pengumpulan data di PT. Mustika Minanusa Aurora. Setelah itu membuat *single line diagram* dan *input* data pada Simulink dan dilakukan simulasi aliran daya tanpa menggunakan kapasitor bank. Setelah mendapatkan hasil simulasi dilakukan perhitungan kebutuhan daya reaktif, ukuran serta jumlah unit kapasitor yang akan dipasang, kemudian melakukan simulasi aliran daya dengan menggunakan kapasitor bank. Pada penelitian ini menerapkan 2 metode penempatan kapasitor bank yaitu penempatan kapasitor secara *Global Compensation* dan *Group compensation*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terdiri dari pengolahan data penelitian dan B. Rangkaian Simulasi Kapasitor Bank dengan metode pemasangan Global Compensation.

A. Data Penelitian

Tabel 1 Data Beban

Jenis Beban	Trafo	Daya Beban (kW)	Cos φ	S (kVA)	V L-L
MMA 1A	20 kVA	209.94	0.91	230.71	387.1
MMA 1B	20 kVA	241.31	0.91	265.17	387.5
MMA 1C	20 kVA	226.13	0.91	248.49	388.7
MMA 1D	20 kVA	222.64	0.91	244.66	388.6
MMA 1E	20 kVA	224.82	0.91	248.18	379

Dari hasil data beban dilapangan yang tertera pada tabel diatas dapat dilakukan perhitungan daya aktif, daya reaktif dan daya Semu sebelum perbaikan faktor daya dan perhitungan kompensasi daya reaktif apabila nilai faktor daya diperbaiki menjadi 0,99.

$$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L} \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 387,1 \cdot 344,1 \cdot 0,91$$

$$= 209947,092 \text{ Watt}$$

$$= 209,94 \text{ kW}$$

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I_{L-L}$$

$$= \sqrt{3} \cdot 387,1 \cdot 344,1$$

$$= 230711,090 \text{ VA}$$

$$= 230,71 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{230,71^2 - 209,94^2}$$

$$= 95,66 \text{ kVAr}$$

Setelah mendapatkan nilai Q_1 selanjutnya $\cos \varphi_2$ yang diinginkan adalah 0.99 dengan P konstan.

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2}$$

$$= \frac{209,94}{0,99}$$

$$= 212,06 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{212,06^2 - 209,94^2}$$

$$= 29,91 \text{ kVAr}$$

Setelah mendapatkan nilai Q_1 dan Q_2 selanjutnya menghitung total daya Reaktif kompensasi (Q_k).

$$Q_k = Q_1 - Q_2$$

$$= 95,66 \text{ kVAr} - 29,91 \text{ kVAr}$$

$$= 65,76 \text{ kVAr}$$

Tabel 2 Hasil Sebelum dan Sesudah Perbaikan Kapasitor Bank

Nama	Data sebelum perbaikan Kapasitor Bank				Data sesudah perbaikan Kapasitor Bank			
	Cos φ1	P (kW)	S1 (kVA)	Q1 (kVAr)	Cos φ2	S2 (kVA)	Q2 (kVAr)	Qk (kVAr)
MMA 1A	0.91	209.94	230.71	95.67	0.99	212.06	29.91	65.76
MMA 1B	0.91	241.31	265.17	109.93	0.99	243.75	34.38	75.55
MMA 1C	0.91	226.13	248.49	103.02	0.99	228.41	32.22	70.80
MMA 1D	0.91	222.64	244.66	101.44	0.99	224.89	31.72	69.72
MMA 1E	0.91	224.82	248.18	105.11	0.99	227.09	32.04	73.08
Global	0.91	1124.84	1236.17	512.69	0.99	1136.20	160.28	352.41

Dengan nilai kompensasi daya reaktif tersebut maka dapat dicari nilai kapasitansinya.

$$Q_k = 65,76 \text{ kVAr}$$

$$V_{L-L} = 387,1 \text{ Volt}$$

$$I_L = \frac{Q_k}{\sqrt{3} V_{L-L}}$$

$$= \frac{65755}{\sqrt{3} \cdot 387,1}$$

$$= 98,07 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{98,07}{\sqrt{3}}$$

$$= 56,62 \text{ A}$$

$$X_C = \frac{V_{L-L}}{I_C}$$

$$= \frac{387,1}{56,62}$$

$$= 6,84 \Omega$$

$$C = \frac{10^6}{2 \pi f X_C}$$

$$= \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 6,838}$$

$$= 465,82 \mu F$$

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai Kapasitor bank yang dibutuhkan.

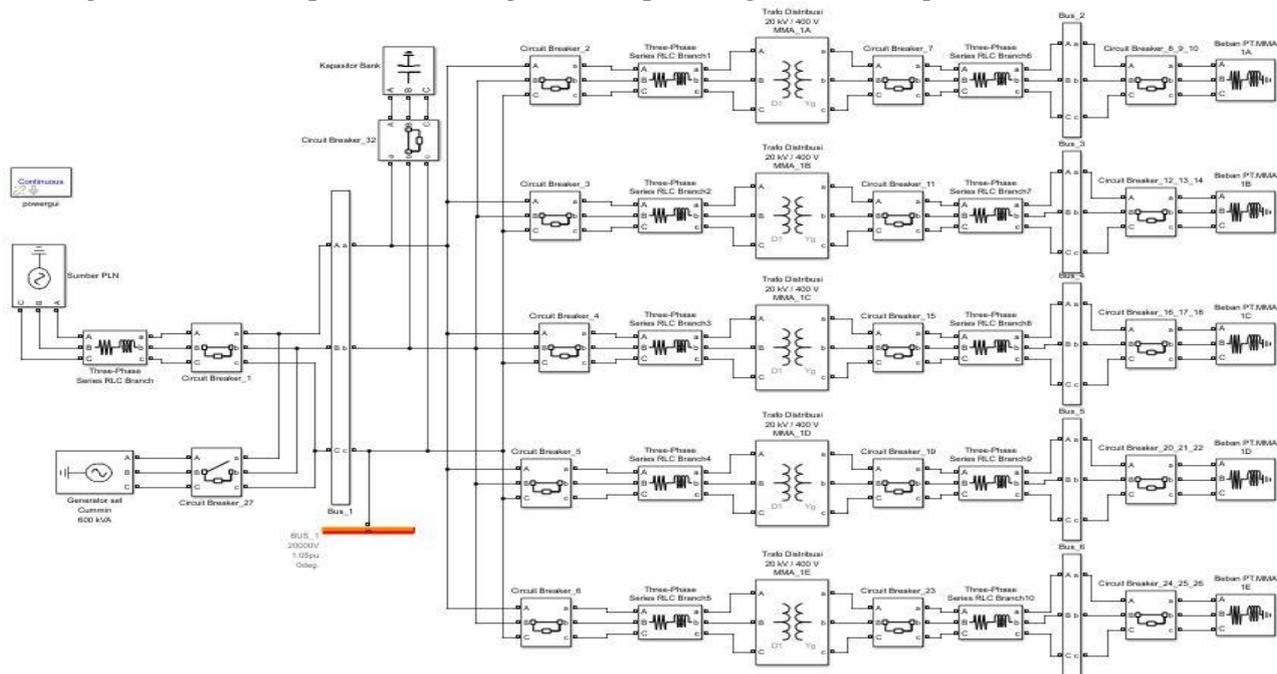
Tabel 3 Hasil Perhitungan Nilai Kapasitor

Nama	Data Perhitungan Nilai Kapasitor Bank					
	VL-L (Volt)	Q _k (kVAr)	IL (A)	IC (A)	XC (Ω)	C (μF)
MMA 1A	387.1	65.76	98.07	56.62	6.84	465.82
MMA 1B	387.5	75.55	112.54	64.98	5.96	533.96
MMA 1C	388.7	70.80	105.15	60.71	6.40	497.38
MMA 1D	388.6	69.72	103.57	59.80	6.45	490.05
MMA 1E	379	73.08	111.35	64.29	5.89	540.36
Global	20 kV	352.41	10.17	5.87	3405.13	0.94

Dari table III telah didapatkan hasil daya kompensasi reaktif dari meningkatnya faktor daya menjadi 0.99 di mana pada MMA 1A Q_K 65,76 kVAr atau 465.82 μF, pada MMA 1B Q_K 75.55 kVAr atau 533.96 μF, pada MMA 1C Q_K 70.80 kVAr atau 497.38 μF, pada MMA 1D Q_K 69.72 kVAr atau 490.05 μF, dan pada MMA 1E Q_K 73.08 kVAr atau 540.36 μF sedangkan secara Global nilai Q_K 352.41 kVAr atau 0.94 μF.

Setelah menghitung nilai kompensasi daya reaktif (Q_K) selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan memasang kapasitor bank menggunakan metode pemasangan *Global Compensation* dan *Group Compensation* berdasarkan nilai kompensasi daya reaktif yang telah dihitung pada simulasi.

B. Rangkaian Simulasi Kapasitor Bank dengan metode pemasangan *Global Compensation*



Gambar 6. Rangkaian Simulasi MMA 1A metode pemasangan kapasitor Bank secara *Global Compensation*

Dari Gambar 6 rangkaian simulasi diatas selanjutnya dilakukan proses pengujian simulasi yang didapatkan serta hasil ketika dilakukannya simulasi dengan metode pemasangan Kapasitor Bank secara *Global Compensation* Dari hasil simulasi MMA 1A secara *Global Compensation* terlihat pada Gambar 4 dimana tegangan yang dihasil kan adalah senilai 382,8 Volt dan arus yang dihasilkan adalah senilai 335,5 Ampere serta faktor daya yang dihasilkan adalah senilai 0,9438 atau 0,94 sedangkan pada hasil daya aktif yang terdapat pada hasil simulasi adalah 2,099e+05 Watt atau senilai 209.9 kW, daya semu 2,224e+05 VA atau senilai 222,4 kVA, dan daya reaktif 7,352e+04 VAr atau senilai 73,52 kVAr

C. Rangkaian Simulasi Kapasitor Bank dengan metode pemasangan *Group Compensation*

Pada simulasi MMA 1A dimana terdapat data data yang dimasukan pada rangkaian simulasi MMA 1A seperti daya aktif 209,94 kW, daya reaktif pertama 95,67 kVAr dan daya reaktif kompensasi 65,76 kVAr. Setelah membuat rangkaian simulasi selanjutnya simulasi dijalankan supaya mendapatkan nilai tegangan pada MMA 1A ketika pada waktu simulasi yaitu sebesar 389,5 Volt, arus pada MMA 1A ketika waktu simulasi adalah sebesar 315,5 Ampere, dan pada hasil faktor daya ketika simulasi kapasitor bank dengan metode pemasangan *Group Compensation* adalah senilai 0,9864 atau sebesar

0,99 di mana dalam hal ini faktor daya dalam simulasi ini terbilang sangat baik. Sedangkan pada daya aktif yang dihasilkan pada simulasi adalah sebesar 2,099e+05 Watt

atau senilai 209,9 kW, daya semu sebesar 2,128e+05 VA atau senilai 212,8 kVA, dan daya reaktif 3,501e+04 VAR atau senilai 35,01 kVAR.

Tabel 4 Hasil Pengukuran dan Perhitungan V, I dan Cos ϕ dengan Metode Pemasangan Kapasitor Bank secara *Global Compensation* dan *Group Compensation*

NAMA	Tegangan dibeban (V)	Arus dibeban (A)	PF	P(kW)	S2 (kVA)	Q2 (kVAr)
	Ukur	Ukur	Ukur	Perhitungan	Perhitungan	Perhitungan
MMA 1A	387.1	344.1	0.91	209.94	230.71	95.67
MMA1B	387.5	395.1	0.91	241.31	265.17	109.93
MMA 1C	388.7	369.1	0.91	226.13	248.49	103.02
MMA 1D	388.6	363.5	0.91	222.64	244.66	101.44
MMA 1E	379	378	0.91	224.82	248.18	105.11

Tabel 5 Hasil Simulasi V, I dan Cos ϕ dengan Metode Pemasangan Kapasitor Bank secara *Global Compensation*

NAMA	Tegangan dibeban (V)	Arus dibeban (A)	PF	P(kW)	S (kVA)	Q (kVAr)
	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi
MMA 1A	382.8	335.5	0.94	209.9	222.4	73.52
MMA1B	380.1	381.4	0.96	241.3	251.1	69.04
MMA 1C	381	356.4	0.96	226.1	235.2	64.65
MMA 1D	382.3	352.3	0.95	222.6	233.3	69.64
MMA 1E	379.8	374.3	0.92	225.8	246.2	98.17

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 dimana ketika kapasitor bank terpasang secara *Global compensation*, kapasitor bank terlihat mempengaruhi faktor daya pada MMA 1A, MMA1B, MMA1C, MMA 1D, dan MMA 1E. Pada MMA 1A faktor daya saat pengukuran adalah $\cos \phi_1$ 0,91 setelah dipasangkan kapasitor bank faktor daya nya menjadi $\cos \phi_2$ 0,94 dan Q_1 95,67 kVAr berubah menjadi Q_2 73,52 kVAr sehingga total daya yang di gunakan adalah sebesar S_1 230,71 kVA berkurang menjadi S_2 222,4 kVA. Sedangkan pada MMA 1B, MMA 1C, MMA 1D, MMA 1E terdapat juga perubahan faktor daya saat melakukan simulasi yaitu pada

MMA 1B dan MMA 1C $\cos \phi_1$ 0,91 menjadi $\cos \phi_2$ 0,96 MMA 1D $\cos \phi_1$ 0,91 menjadi $\cos \phi_2$ 0,95 MMA 1D $\cos \phi_1$ 0,91 menjadi $\cos \phi_2$ 0,92 sehingga kebutuhan daya reaktif pada MMA 1B yang awalnya Q_1 109,93 kVAr menjadi Q_2 69,4 kVAr, MMA 1C yang awalnya Q_1 103,02 kVAr menjadi Q_2 64,65 kVAr, MMA 1D yang awalnya Q_1 101,44 kVAr menjadi Q_2 69,64 kVAr, dan MMA 1E yang awalnya Q_1 105,11 kVAr menjadi Q_2 98,17 kVA

Tabel 6 Hasil Simulasi V, I dan Cos ϕ dengan Metode Pemasangan Kapasitor Bank secara *Group Compensation*

NAMA	Tegangan dibeban (V)	Arus dibeban (A)	PF	P(kW)	S (kVA)	Q (kVAr)
	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi	Simulasi
MMA 1A	389.5	315.5	0.99	209.9	212.8	35.01
MMA1B	387.9	359.8	0.99	241.3	241.7	14.03
MMA 1C	388.6	345.2	0.97	226.1	232.3	53.38
MMA 1D	389.2	331.5	0.99	222.6	223.5	19.19
MMA 1E	387.7	360.5	0.93	225.8	242.1	87.25

Pada Tabel 4 dan Tabel 6 terlihat bahwa kapasitor yang terpasang secara *Group Compensation* mampu memperbaiki faktor daya yang berada pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan. Dimana pada MMA 1A faktor daya awalnya adalah $\cos \varphi_1$ 0,91 berubah menjadi $\cos \varphi_2$ 0,99 dan daya reaktif nya juga yang awalnya adalah Q_1 95,67 kVAr berubah menjadi Q_2 35,01 kVAr sehingga daya aktif yang di terima menjadi maksimal. Pada MMA 1B faktor daya awalnya adalah $\cos \varphi_1$ 0,91 berubah menjadi $\cos \varphi_2$ 0,99 hal ini membuat daya reaktif pada MMA 1B menjadi berkurang sangat pesat dimana Q_1 109,93 kVAr berubah menjadi Q_2 14,03 kVAr.

Pada MMA 1C juga terjadi perubahan faktor daya ketika kapasitor terpasang secara *Group Compensation* dimana $\cos \varphi_1$ 0,91 berubah menjadi $\cos \varphi_2$ 0,97 hal ini juga membuat daya reaktif pada MMA 1C menjadi berkurang sangat pesat dimana Q_1 103,02 kVAr berubah menjadi Q_2 53,38 kVAr. Pada MMA 1D sama hal nya terjadi perubahan pada factor daya yang dihasilkan dari simulasi dimana $\cos \varphi_1$ 0,91 berubah menjadi $\cos \varphi_2$ 0,99 hal ini juga membuat daya reaktif pada MMA 1D menjadi berkurang sangat pesat dimana Q_1 101,44 kVAr berubah menjadi Q_2 19,19 kVAr.

Sedangkan pada MMA 1E terjadi faktor daya yang sangat signifikan dimana ketika $\cos \varphi_1$ 0,91 berubah menjadi $\cos \varphi_2$ 0,93 hal ini juga membuat daya reaktif pada MMA 1E menjadi berkurang dimana Q_1 105,11 kVAr berubah menjadi sangat kecil sekali Q_2 87,25 kVAr.

Pada simulasi ini kompensasi daya reaktif mampu mengurangi daya reaktif yang berada pada beban di masing masing MMA, sehingga mampu menghasilkan faktor daya yang berada pada masing masing MMA.

V. KESIMPULAN

Dari Simulasi pemasangan kapasitor bank secara *Global Compensation* dimana hasil faktor daya yang didapatkan dari masing masing MMA adalah MMA 1A bernilai 0,94, MMA 1B bernilai 0,96, MMA 1C bernilai 0,96, dan MMA 1D bernilai 0,95, serta MMA 1E bernilai 0,92. Sedangkan pada simulasi pemasangan kapasitor bank secara *Group Compensation* dimana hasil faktor daya yang didapatkan MMA 1A bernilai 0,99, MMA 1B bernilai 0,99, MMA 1C bernilai 0,97, dan MMA 1D bernilai 0,99, serta MMA 1E bernilai 0,93. Dari Hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan 2 metode pemasangan kapasitor bank dengan cara *Global Compensation* dan *Group Compensation* pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan bahwa dengan pemasangan Kapasitor Bank secara *Group Compensation*

merupakan pilihan yang baik dalam melakukan perbaikan Faktor daya pada PT. Mustika Minanusa Aurora Tarakan. Metode pemasangan kapasitor bank dan juga nilai kapasitas pada kapasitor bank juga sangat berpengaruh terhadap faktor daya yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Apip.(2018). Katalog Kapasitor Bank Merek Schneider. SCRIBD. Diakses pada 02 Desember 2021, dari <https://www.scribd.com/document/391544446/180375330-katalog-kapasitor-bank-merek-schneider-docx-docx>.
- [2] AS. Pabla. (1994). *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [3] Cekdin, C. & T. B. (2013), *Rangkaian Listrik*, (FI. Sigit Suyantoro, Ed.) (1st ed.), Yogyakarta, ANDI Yogyakarta.
- [4] Belly, A., Agusman, C., & Lukman, B. (2010), *Daya aktif, reaktif & nyata*, Makalah.
- [5] Darusman, Marzuki. (2018), *Analisa Kelayakan Pemasangan Kapasitor Bank Pada Gardu Distribusi Untuk Kemampuan Layanan Di PT. EPI(Energi Pelabuhan Indonesia) Cabang Pontianak*, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [6] Hariansyah, M., & Setiawan, J. (2014), *Daya Pada Panel Utama Listrik Gedung Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor*, (November), 26–33.
- [7] Julianto, P. (2010), *Optimalisasi Penentuan Lokasi dan Ukuran Kapasitor Untuk Mereduksi Kerugian Daya Aktif Pada Sistem Distribusi Menggunakan Improved Adaptive Genetic Algorithm*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- [8] Ramdani, M. (2005), *Rangkaian Listrik (Revisi)*. Bandung: Sekolah Tinggi Teknologi Telkom.
- [9] Stevenson, Jr. William D. (1984), *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi-4, Kamal Idris (penerjemah), Jakarta, Erlangga.
- [10] Suswanto, Daman. (2009), *Diktat Kuliah: Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
- [11] Suhadi, & Wrahatnolo, T. (2008), *Teknik Distribusi Tenaga Listrik* (1st ed.), Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [12] Widodo, R. (2018), *Analisa Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank Pada Jalur Distribusi Chf 3 Pt. Bukit Asam (Persero) Tbk*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [13] Windu Nur, H. (2017), *Analisa Optimalisasi Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Line 5 PT Bukit Asam (Persero) Tbk*, Universitas Lampung, Lampung.

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN LAPISAN MAGNET DAN JARAK CELAH UDARA ROTOR TERHADAP KINERJA MOTOR DC MAGNET PERMANEN

Sri Kurniati^{1*}, Sudirman Syam²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang,

Nusa Tenggara Timur, Indonesia

¹sri_kurniati@staf.undana.ac.id

²sudirman_s@staf.undana.ac.id

Abstract—A rectangular NdFeB permanent magnet DC motor design has been made and tested experimentally. The use of rectangular permanent magnet rotor teeth made in layers aims to increase the torque of the DC motor. Measurement and testing of DC motor force and torque using a spring balance. In addition, the adjustment of the air gap and the addition of a magnetic layer were carried out to determine the performance of a DC motor with varying rotation. This DC motor design has eight poles with 150 turns per coil and an arrangement of 1-4 layers of permanent magnets with an air gap of 1-4 mm. The results showed that the more layers of permanent magnets with a smaller rotor and stator magnetic air gap, the greater the torque. In measuring the motor's torque with four layers of permanent magnets for an air gap of 1 mm with a field voltage of 50 Volts, the electrical-torque is 0.6910 N-m, and the mechanical-torque is 0.027 N-m at a speed of 780 Rpm. Then at a voltage of 60 Volts with the same air gap distance, an electrical-torque of 0.085 N-m is obtained and a mechanical-torque of 0.0293 with a speed of 860 rpm.

Keywords—NdFeB Magnet, Electrical-torque, Mechanical-torque, Rotation

Intisari—Sebuah desain motor DC magnet permanen NdFeB persegi panjang telah dibuat dan diuji secara eksperimental. Penggunaan gigi rotor magnet permanen persegi panjang dibuat secara berlapis bertujuan untuk meningkatkan torsi motor DC. Pengukuran dan pengujian gaya dan torsi motor DC menggunakan sebuah neraca pegas. Selain itu, pengaturan jarak celah udara dan penambahan lapisan magnet dilakukan untuk mengetahui kinerja motor DC magnet permanen dengan putaran yang bervariasi. Desain motor DC magnet permanen ini memiliki 8 kutub dengan 150 lilitan per kumparan dan susunan 1 - 4 lapisan magnet permanen dengan jarak celah udara dari 1 - 4 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak susunan lapisan magnet permanen dengan jarak celah udara magnet rotor dan stator yang semakin kecil akan menghasilkan torsi yang semakin besar. Pada pengukuran torsi motor dengan 4 lapisan magnet permanen untuk jarak celah udara 1 mm dengan tegangan medan 50 Volt diperoleh torsi listrik 0,6910 N-m, torsi mekanis 0,027 N-m dengan kecepatan putaran 780 rpm. Kemudian pada tegangan 60 Volt dengan jarak celah udara 1 mm diperoleh torsi listrik 0,0853 N-m dan torsi mekanis 0,02925 dengan kecepatan putaran 860 rpm.

Kata Kunci—Magnet NdFeB, Torsi-listrik, Torsi-mekanis, Putaran

I. PENDAHULUAN

Motor magnet permanen pertama kali ditemukan dan dipatenkan oleh Howard Johnson di Tahun 1980-an. Prinsip kerjanya berdasarkan gaya tolak menolak magnet sejenis yang dipasang pada rotor dan stator. Gaya tolak inilah yang akan diubah menjadi energi putar. Konstruksi utama dari motor magnet permanen terdiri dari rotor dan stator. Rotor memiliki sumbu putar yang memungkinkan bagian ini berputar karena daya dorong yang didapatkan dari gaya tolak menolak magnet yang ada di kedua bagian utama motor magnet permanen tersebut [1].

Pengembangan bahan magnet baru dengan kerapatan energi tinggi dan koersivitas tinggi telah meningkatkan desain motor magnet permanen. Magnet kerapatan energi tinggi memungkinkan peningkatan celah udara tanpa pengurangan kepadatan medan magnet di celah udara. Hal ini juga menyebabkan peningkatan minat penelitian pada motor sinkron magnet permanen tanpa slot untuk aplikasi kinerja tinggi. Menurut [2], konfigurasi tanpa slot memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan mesin berinti besi seperti, tidak ada torsi cogging, tidak ada saturasi besi pada gigi stator, dan tidak ada rugi-rugi inti rotor sehingga dapat mengurangi rugi-rugi inti secara signifikan.

Saat ini, telah banyak dikembangkan motor DC magnet seperti magnet permanen jenis NdFeB yang menghasilkan rugi yang rendah sehingga menghasilkan kinerja motor magnet yang tinggi. Magnet NdFeB memiliki sifat magnet yang sangat baik seperti pada nilai induksi remanen, koersivitas dan energi produk yang lebih tinggi pula dibandingkan dengan magnet permanen lain [3, 4]. Dengan memiliki sifat magnetik yang tinggi, dalam aplikasinya magnet NdFeB dapat berukuran lebih kecil. Karakteristik bahan tersebut memungkinkan untuk dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif desain motor yang lebih efektif dan efisien [5, 6].

Akan tetapi, walaupun material magnet permanen dan desain motor magnet telah mengalami perkembangan yang pesat, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja motor DC tersebut. Salah satu diantaranya adalah jarak celah udara magnet rotor-stator. Rotor motor dapat berputar akibat adanya gaya dorong tarik menarik antara magnet stator dan magnet rotor pada posisi dan jarak tertentu antara keduanya. Hubungan gaya dorong rotor mempunyai torsi terhadap jarak antara magnet rotor-stator adalah berbanding terbalik, sedangkan hubungan antara

gaya dorong dan torsi terhadap posisi sudut magnet berbanding lurus. Hal ini menunjukkan bahwa adanya hubungan antara putaran motor dan jarak antara magnet rotor-stator, sudut yang dibentuk oleh kedua magnet dan jumlah pasang magnet yang digunakan [1]. Selain itu, nilai fluks magnet juga turut berperan penting dalam meningkatkan torsi motor. Hal ini telah dianalisis menggunakan metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) oleh [7].

Berkaitan dengan itu, beberapa studi lainnya menjelaskan bahwa salah satu teknik untuk meningkatkan torsi magnet permanen adalah dengan menggunakan segmen magnet permanen yang disusun secara berlapis. Dengan memasang magnet permanen secara berlapis sama dengan menghubungkan magnet secara paralel. Dalam teori rangkaian magnet terdapat kesamaan dalam rangkaian listrik. Sifat rangkaian magnet yang disusun secara paralel sama dengan menghubungkan tahanan paralel dalam rangkaian listrik. Artinya, apabila rangkaian magnet disusun secara paralel sama dengan menurunkan nilai reluktansi yang berbanding terbalik dengan nilai flux. Menurut [8] apabila nilai reluktansi rendah maka, nilai flux akan menjadi lebih tinggi dan dapat meningkatkan torsi dari motor. Oleh karena itu, tujuan dari paper ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan lapisan magnet dan jarak celah udara antara rotor dan stator terhadap kinerja motor magnet permanen.

II. LANDASAN TEORI

A. Motor DC Magnet Permanen

Motor DC magnet permanen dapat didefinisikan sebagai motor yang mencakup kutub magnet permanen. Motor DC ini terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam dan rotor adalah bagian yang ikut berputar. Pada motor ini, magnet dapat digunakan untuk membuat fluks bekerja di dalam celah udara di tempat gulungan medan. Rotor motor DC magnet permanen termasuk inti angker dinamo, komutator, dan belitan angker dinamo. Fungsi utama dari belitan medan adalah untuk menghasilkan fluks magnetic yang berfungsi didalam celah udara serta *wound* pada stator motor sementara belitan dinamo dapat memutar rotor.

- Rotor

Rotor pada motor ini berbentuk disk atau piringan yang bisa dibuat dari berbagai macam jenis bahan. Pada bagian rotor inilah ditempatkan magnet permanen yang berfungsi sebagai kumparan medannya. Rotor pada generator ini merupakan bagian yang dapat berputar.

- Stator

Stator merupakan bagian yang diam, pada dasarnya stator merupakan tempat dibangkitkan ggl induksi pada medan magnet pada motor magnet permanen. Rangkaian medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi utama dibentuk dari kumparan pada setiap kutub. Pada aplikasinya rangkaian medan dapat dihubungkan dengan kumparan jangkar baik seri maupun paralel dan juga dihubungkan tersendiri langsung kepada sumber tegangan sesuai dengan jenis penguatan pada motor. Untuk menghitung banyak lilitan (N) pada kumparan dapat dihitung dengan rumus:

- Langkah pertama, dilakukan perhitungan fluks magnet maksimal dengan menggunakan persamaan (1):

$$B_{max} = B_r \frac{l_m}{l_m + \delta} \quad (1)$$

dimana:

B_r = kerapatan fluks (T)

δ = lebar celah udara (m)

l_m = tinggi magnet (m)

B_{max} = fluks magnet maksimal (T)

- Selain itu, juga dihitung luasan magnet menggunakan persamaan (2):

$$A_m = \frac{\pi (r_0^2 - r_i^2) - rf (r_0 - r_i) N_m}{N_m} \quad (2)$$

dimana:

A_m = luasan magnet (m^2)

r_0 = radius luar magnet (m)

r_i = radius dalam magnet (m)

N_m = jumlah magnet

rf = jarak antar kutub magnet (m)

- Dari persamaan (1) dan (2) dapat dihitung nilai fluks maksimal menggunakan persamaan (3):

$$\phi_{max} = A_m \times B_{max} \quad (3)$$

dimana:

A_m = luasan magnet (m^2)

B_{max} = Fluks magnet maksimal (T)

ϕ_{max} = Fluks maksimum (Wb)

- Selanjutnya, untuk jumlah lilitan pada stator generator digunakan persamaan (4) dan (5):

$$N = \frac{E}{4,44 \times f \times K_{w1} \times \Phi} \quad (4)$$

- Jumlah lilitan disetiap kutub kumparan:

$$= \frac{N}{\text{jumlah kumparan}} \quad (5)$$

dimana :

N = jumlah lilitan

E = tegangan fasa (volt)

f = frekuensi (Hz)

K_{w1} = faktor belitan (0,8)

Φ = fluks magnet (Wb)

- Celah Udara

Celah udara atau *air gap* merupakan bagian celah yang terdapat di antara rotor dan stator, dimana tempat ini merupakan tempat berpindahnya fluks magnet dan menginduksi kumparan atau lilitan kawat pada stator. Besarnya celah udara ini mempengaruhi penginduksian ke kumparan stator.

- Komutator

Untuk memperoleh tegangan searah diperlukan alat penyearah yang disebut komutator dan sikat. Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang berbentuk lempengan-lempengan yang dirakit ke dalam silinder yang terpasang pada poros. Setiap lempengan atau segmen-segmen komutator terisolasi dengan baik antara satu sama lainnya. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam kumparan motor DC dan juga membantu dalam transmisi arus antara kumparan motor DC dan sumber daya.

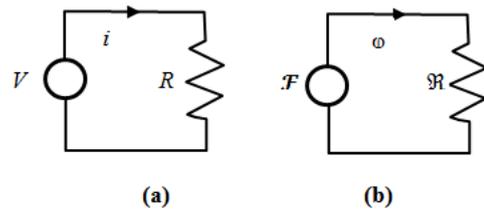
- Sikat

Sikat-sikat ini berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus ke kumparan jangkar. Dimana permukaan sikat ditekan ke permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik. Besarnya tekanan pegas dapat diatur sesuai dengan keinginan. Disamping itu sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Karbon yang ada diusahakan memiliki konduktivitas yang tinggi untuk mengurangi rugi-rugi listrik. Agar gesekan antar komutator-komutator dan sikat tidak mengakibatkan arusnya komutator. Maka sikat harus lebih lunak dari pada komutator.

B. Analogi Rangkaian Magnet dan Rangkaian Listrik

Gambar 1 memperlihatkan ekivalen dari "rangkaiannya listrik" dan "rangkaiannya magnet" yang merupakan salah satu metode pendekatan yang dapat digunakan untuk membantu memberikan gambaran umum tentang fenomena magnet. Diagram rangkaian ini, tampak bahwa "sirkuit listrik" dan "sirkuit magnetik" adalah setara/sama.

Oleh karena itu hubungan secara matematis dari kedua rangkaian juga sama.



Gambar 1. (a) Ekivalen Rangkaian Listrik dan (b) Analogi Rangkaian Magnet

Berdasarkan Gambar 1, ada beberapa kesamaan / kesetaraan parameter antara rangkaian listrik dan sirkuit magnetik seperti yang diberikan dalam Tabel 1.

Table 1. Analogi Kuantitas Rangkaian Listrik dan Rangkaian Magnet

Rangkaian Listrik	Satuan	Rangkaian Magnet	Satuan
Tegangan (v)	Volt	Gaya Gerak Magnet ($F = Ni$)	Amp-turns
Arus (i)	Ampere	Fluks Magnet (ϕ)	Webers Wb
Tahanan (R)	Ohm	Reluktans (\mathfrak{R})	Amp-turns/Wb
Konduktivitas ($1/\rho$)	Mho	Permeabilitas (μ)	Wb/A-t-m
Kerapatan Arus (J)	A/m ²	Kerapatan Fluks Magnet (B)	Wb/m ² = teslas T
Medan Listrik (E)	Newton/Coulomb (N/C)	Intensitas medan Magnet (H)	Amp-turn/m

Persamaan (1) identik dengan Hukum Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \tag{1}$$

Untuk rangkaian magnetik, efek yang diinginkan adalah fluks (ϕ), sedangkan penyebab gaya magnet (\mathcal{F}) adalah gaya luar (tekanan) yang diperlukan untuk menentukan garis fluks magnet dalam material magnetik. Resistansi terhadap penentuan fluks (ϕ) adalah reluktansi (\mathfrak{R}), sehingga nilai persamaan di atas diberikan oleh:

$$\phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathfrak{R}} \tag{2}$$

Selanjutnya, dengan menggunakan analogi "penyebab" hukum tegangan Kirchhoff, persamaan dapat diperoleh:

$$\sum_0 \mathcal{F} = 0 \text{ (Untuk rangkaian listrik)} \tag{3}$$

Persamaan ini menyatakan bahwa jumlah kenaikan aljabar dan penurunan gaya gerak magnetik di sekitar loop tertutup pada sirkuit magnetik adalah nol. Dengan demikian, jumlah peningkatan gaya magnet sama dengan jumlah penurunan gaya magnet di sekitar loop tertutup. Kondisi ini dinyatakan dalam suatu persamaan yang disebut Hukum Rangkaian Ampere. Jika persamaan ini diterapkan pada rangkaian magnetik, maka gaya gerak magnet dilambangkan dengan:

$$\mathcal{F} = NI \text{ (At)} \tag{4}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan untuk melakukan pengujian desain pada Motor DC Magnet Permanen sebagai berikut:

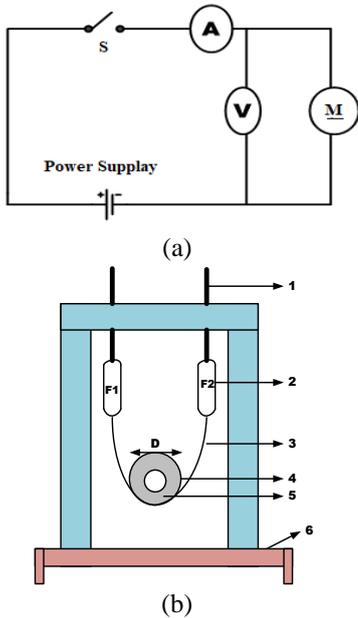
- Multimeter
- Teslameter
- Tachometer
- Spring balance (Neraca pegas)
- Power suplay (Regulator DC)

B. Bahan yang digunakan

- Seperangkat lapisan magnet jenis NdFeB dengan ukuran 10 mm x 20 mm x 1 mm.
- Dua piringan akrilik
- Belitan kumparan stator
- Capacitor DC 450 μ F/500 VDC
- Poros/AS

C. Metode Penelitian

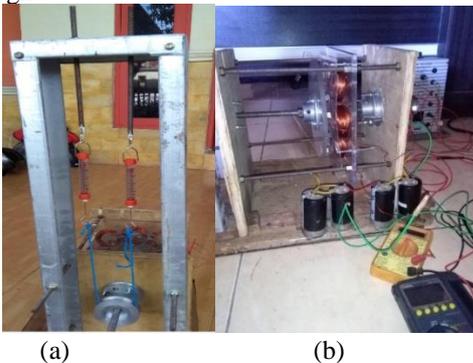
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan melakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian torsi motor DC magnet permanen. Pengujian dan pengambilan data dilakukan di Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana. Parameter yang diuji pada desain motor DC ini adalah kecepatan putaran dan torsi motor terhadap pengaruh tegangan input dan variasi lapisan magnet rotor. Gambar 2 dan 3 memperlihatkan desain pengujian torsi motor dan pengujian prototipe di Laboratorium.



Gambar 2. Desain Pengujian; (a) Pengujian Elektris; (b) Pengujian Mekanis

Keterangan:

1. Ulir pengatur beban
2. Neraca Pegas (*Spring Balance*)
3. Sabuk transmisi
4. Motor penggerak
5. *Pully*
6. Rangka

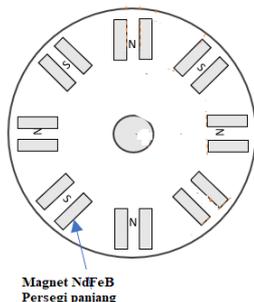


Gambar 3. Pengujian Prototipe Motor DC Magnet Permanen; (a) Tampak Depan; (b) Tampak Samping

D. Desain Motor DC Magnet Permanen

1. Rotor magnet permanen

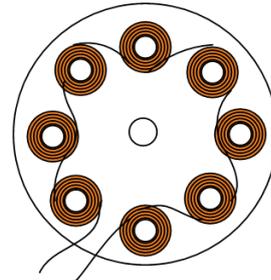
Rotor merupakan bagian generator yang berputar, terbuat dari papan akrilik berbentuk lingkaran. Gambar 4 memperlihatkan desain rotor dalam empat variasi, masing-masing dipasangkan magnet 1 lapis, 2 lapis, 3 lapis dan 4 lapis.



Gambar 4. Desain Rotor

2. Desain Stator Motor DC Magnet Permanen

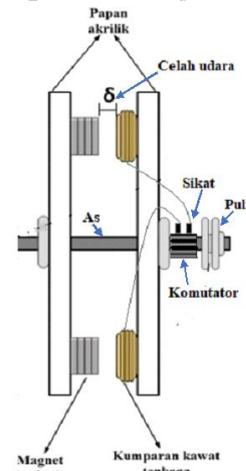
Stator adalah bagian yang diam, stator dibuat menggunakan bahan akrilik. Pada stator dipasang lilitan kumparan yang disusun secara seri. Kumparan stator dirancang sebanyak 150 per luntaran yang terdiri dari 8 kutub yang sesuai dengan perhitungan pada belitan stator.



Gambar 5. Desain Kumparan Stator

3. Desain prototipe motor

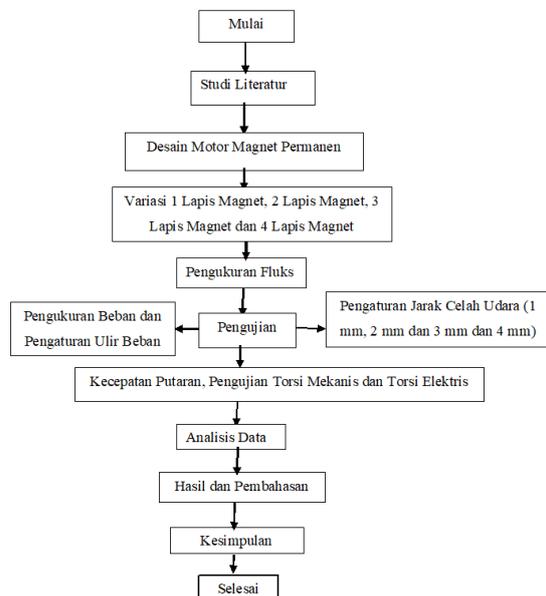
Gambar 5 memperlihatkan desain prototipe motor magnet permanen yang menggunakan magnet NdFeB persegi panjang yang disusun menjadi empat lapis.



Gambar 6. Desain Prototipe Motor Magnet Permanen

E. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini sesuai diagram alir yang diperlihatkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Hasil Perancangan Motor Magnet

Hasil perancangan pada desain motor DC magnet permanen jenis NdFeB dapat dilihat spesifikasinya pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Generator

Parameter	Nilai
Kerapatan Fluks (Br)	
- 1 lapis magnet	117,97 mT
- 2 lapis magnet	147,66 mT
- 3 lapis magnet	181,25 mT
- 4 lapis magnet	202,51 mT
Jumlah Magnet	16 buah
Radius dalam Magnet	0.145 m
Radius luar Magnet	0.165 m
Celah udara	1, 2, 3, 4 (mm)
Diameter Rotor	20 cm
Ketebalan rotor	8 mm
Diameter puli	4.5 cm
Kecepatan putaran	750 Rpm
Jumlah lilitan	150
Jumlah kutub	8
Jumlah Phasa	1
Dimensi magnet : panjang	2 cm
Lebar magnet	1 cm
Tinggi magnet	1 mm
Frekuensi	50 Hz

B. Perhitungan Belitan Stator

- Fluks magnet rata-rata

$$B_{max} = 0.2025117 \frac{0,02}{0,02+0,004} = 0.144 \text{ mT}$$

- Luasan Magnet

$$A_m = \frac{3.14 (0.165^2 - 0.145^2) - 0.022 (0.165 - 0.145) 16}{16} = 0.77675 \text{ m}^2$$

- Fluks magnet maksimal

$$\phi_{max} = 0.77675 \text{ m}^2 \times 0.144 \text{ T} = 0.111852 \text{ Wb}$$

- Menentukan banyak lilitan (E = 24 V)

$$N = \frac{24}{4.44 \times 50 \times 0.8 \times 0.111852} = 1208.16 \text{ belitan.}$$

Jumlah lilitan tiap kumparan:

$$= \frac{1208.16}{8} = 151.020 \approx 150 \text{ lilitan perkumparan.}$$

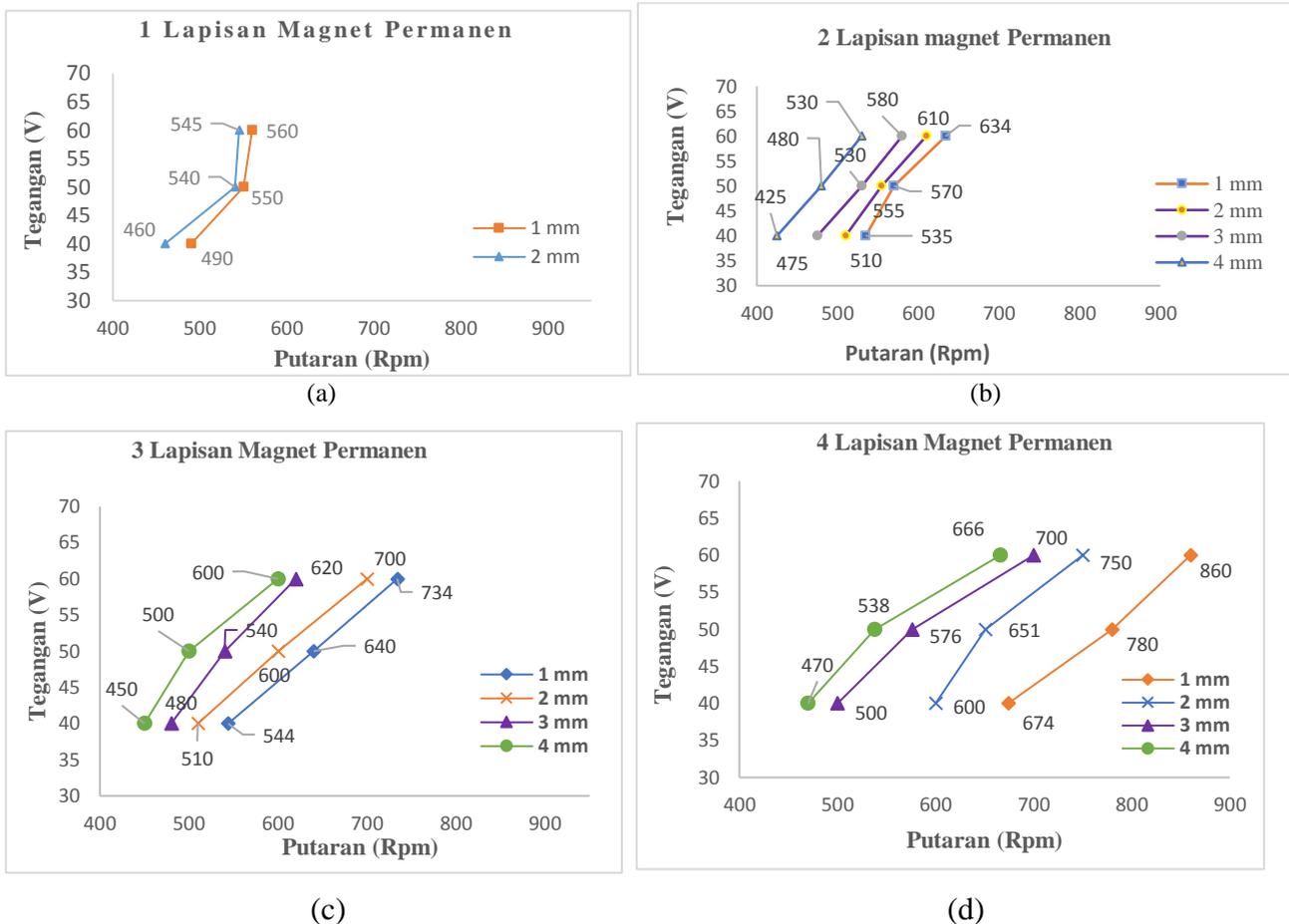
B. Pengujian Komposisi Rotor Magnet yang Disusun secara Berlapis

Dalam pengujian motor magnet ini diberikan tegangan input (tegangan medan stator) yang bervariasi pada setiap lapisan magnet yakni 40V, 50V dan 60 V. Berdasarkan Gambar 2, pengukuran dilakukan untuk memperoleh nilai torsi mekanis dan torsi listrik sesuai dengan variasi beban yang diberikan. Torsi mekanis diperoleh berdasarkan pengukuran gaya, sedangkan torsi listrik diperoleh berdasarkan pengukuran daya output motor yang terukur. Dalam hal ini pemberian beban dilakukan dengan mengatur ulir dari neraca pegas sampai motor berhenti berputar. Kemudian dilakukan variasi dengan mengatur jarak celah udara piringan rotor dan stator dari 1 – 4 mm.

Untuk membandingkan torsi dengan beban yang di variasikan terhadap jarak celah udara dapat terlihat pada Tabel 3. Data hasil pengujian putaran, arus, tegangan dan besar gaya yang diukur untuk magnet permanen persegi panjang susunan 1-4 lapisan dengan jarak celah udara 1- 4 mm. Arus yang besar dipengaruhi oleh dimensi kawat dan jumlah lilitan. Selain itu, Tabel 3 memperlihatkan juga hasil pengukuran arus dan gaya motor mulai dari beban nol sampai pembebanan penuh (motor berhenti / pengereman).

Tabel 3. Hasil Pengukuran Rotor Magnet yang disusun secara Berlapis

No	Teg. input (V)	1 Lapis				2 Lapis				3 Lapis				4 Lapis			
		Arus (I)	F1 (N)	F2 (N)	(N) (Rpm)	Arus (I)	F1 (N)	F2 (N)	(N) (Rpm)	Arus (I)	F1 (N)	F2 (N)	(N) (Rpm)	Arus (I)	F1 (N)	F2 (N)	(N) (Rpm)
1.	40	2.6	0	0	490	2.6	0	0	535	2.7	0	0	544	4.7	0	0	674
		2.5	0.2	0.4	450	2.6	0.2	0.4	500	2.7	0.2	0.4	540	4.5	0.2	0.5	630
		0	0.2	0.6	0	0	0.2	0.7	0	2.6	0.2	0.5	509	4.4	0.3	0.7	547
										2.5	0.3	0.8	434	4.3	0.3	1	530
										2.3	0.3	0.9	379	4.2	0.3	1.1	500
2.	50								0	0.3	1	0	0	0.3	1.3	0	
		2.8	0	0	550	3.1	0	0	570	3.6	0	0	640	4.8	0	0	780
		2.7	0.2	0.5	520	3	0.2	0.5	490	3.5	0.3	0.5	582	4.7	0.2	0.5	730
		2.6	0.2	0.6	460	0	0.2	0.8	0	3.3	0.3	0.8	540	4.6	0.3	1	636
										3	0.3	0.9	480	0	0.3	1.5	0
3.	60									2.9	0.3	1	450				
										0	0.3	1.2	0				
		2.9	0	0	560	3.5	0	0	634	3.7	0	0	734	5.2	0	0	860
		2.8	0.2	0.5	520	3.3	0.2	0.5	585	3.6	0.2	0.5	675	5.1	0.2	0.5	820
		2.7	0.3	0.7	480	2.8	0.2	0.6	490	3.5	0.3	0.8	619	5	0.2	0.7	767
	0	0.3	0.9	0	0	0.2	0.9	0	3.4	0.3	1	589	4.9	0.2	1	730	
									0	0.4	1.5	0	4.7	0.2	1.3	632	
													0	0.2	1.5	0	



Gambar 8. Hubungan Variasi Lapisan Magnet terhadap Tegangan dan Putaran motor: (a) 1 Lapisan Magnet; (b) 2 Lapisan Magnet; (c) 3 Lapisan Magnet; (d) 4 Lapisan Magnet

Gambar 8 memperlihatkan hubungan variasi tegangan input dan putaran dari motor dengan menggunakan rotor magnet 1 - 4 lapisan magnet dan variasi jarak celah udara 1 - 4 mm. Berdasarkan Gambar 8 (a) terlihat bahwa pada penggunaan magnet persegi panjang dengan susunan 1 lapis (117,97 mT), motor magnet hanya mampu berputar pada jarak celah udara 1-2 mm. Hal ini disebabkan pengaruh fluks yang semakin kecil ketika jarak celah udara diperbesar. Kemudian putaran maksimum yang terjadi pada jarak 1 mm hanya mencapai 490 Rpm dengan tegangan input 40 V_{DC}. Kecepatan motor dapat dinaikkan menjadi 550 Rpm dan 560 Rpm dengan menaikkan tegangan input menjadi 50 - 60 Volt.

Selanjutnya, terlihat Gambar 8 (b), (c), dan (d) terjadi peningkatan putaran motor sebanding dengan penambahan lapisan magnet menjadi 2-4 lapis. Pada susunan magnet 2 lapis (147,66 mT) dengan jarak terkecil 1 mm dengan tegangan input 40 Volt, diperoleh peningkatan putaran dari 544 Rpm menjadi 674 Rpm. Berturut-turut untuk magnet 3 lapis (181,25 mT) diperoleh peningkatan putaran 544 Rpm, dan 4 lapis (202,51 mT) dengan putaran 674 Rpm. Demikian halnya dengan perubahan tegangan input sampai 60 Volt diperoleh putaran maksimum menjadi 634 Rpm (magnet 2 lapis), 734 Rpm (magnet 3 Lapis), dan 860 Rpm (magnet 4 lapis).

Seperti halnya dengan magnet 1 lapis, ketika jarak celah udara diperbesar maka penambahan magnet 2 - 4 lapis juga akan mengalami penurunan putaran. Akan tetapi, berbeda dengan susunan magnet 1 lapis, dimana penambahan magnet 2 - 4 lapis masih mampu berputar dengan jarak sampai 4 mm.

C. Pengujian Torsi Motor DC Magnet Permanen

Torsi adalah ukuran kekuatan atau gaya yang dapat menyebabkan objek berputar. Pengujian torsi dilakukan dengan menggunakan desain penelitian seperti Gambar 2. Dalam pengujian ini dilakukan pengambilan data torsi statis dan dinamis. Torsi statis adalah torsi yang tidak menghasilkan percepatan sudut dimana kondisi motor DC dalam keadaan mengalami pengereman atau pembebanan penuh. Sebaliknya, torsi dinamis adalah kondisi dimana motor DC dalam keadaan berputar baik dalam keadaan berbeban atau tanpa beban. Pengambilan data ini dilakukan pada setiap variasi susunan magnet untuk 1 lapisan, 2 lapisan, 3 lapisan dan 4 lapisan dengan variasi jarak celah udara 1 mm, 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Kemudian data yang terukur ini masing-masing dilakukan perhitungan torsi sesuai dengan rumus untuk torsi mekanis (pengukuran gaya) dan untuk torsi elektrik (pengukuran daya listrik) sebagai pembanding.

Berdasarkan data dari hasil pengukuran Tabel 3 maka, dapat dihitung nilai torsi elektris dan torsi mekanis dengan mengambil sampel magnet 1 lapis, sebagai berikut:

- Torsi mekanis: $\tau_m = F \cdot r$ (5)

Dimana:

$$F = F_2 - F_1$$

$$F = 0.4 - 0.2 = 0.2 \text{ N}$$

dan r diperoleh dari diameter puli (D= 45 cm) atau r = 0.0045/2 = 0.0225 m. Dengan demikian diperoleh:

$$\tau_m = 0.2 \times 0.0225 = 0.0045 \text{ N} - \text{m}$$

- Torsi elektris $\tau_e = P/\omega$ (6)

dimana:

$$P = V \cdot I \quad (\text{Watt}) \quad (7)$$

$$= 40 \times 2.5 = 100 \text{ Watt}$$

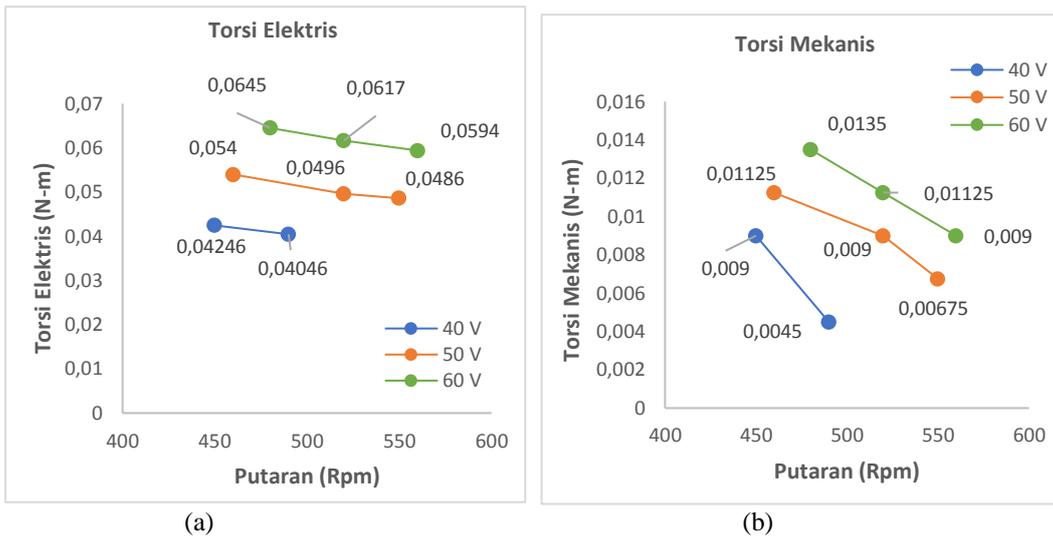
dan $\omega = \frac{2\pi f N}{60}$

$$\omega = \frac{2 \times 3.14 \times 50 \times 450}{60} = \frac{141300}{60} = 2355 \text{ rad/s}$$

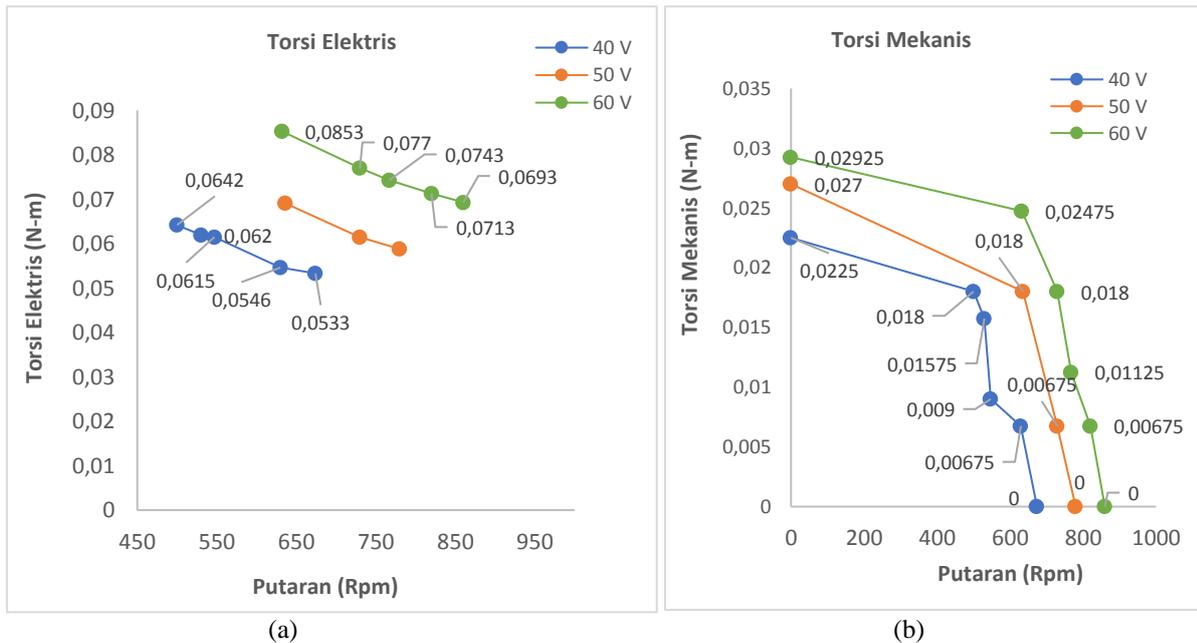
diperoleh:

$$\tau_e = \frac{100}{2355} = 0.04246 \text{ N} - \text{m}$$

Dengan cara yang sama, maka nilai torsi mekanis dan torsi elektris dapat diperoleh berdasarkan hasil pengujian pada setiap perubahan beban yang diberikan pada motor magnet. Gambar 9 dan 10 memperlihatkan pengujian torsi motor DC untuk komposisi 1 lapisan dan 4 lapisan magnet dengan mengambil sampel jarak celah udara 1 mm.



Gambar 9. Pengujian Torsi Motor dengan komposisi 1 Lapisan Magnet: (a) Torsi Elektris; (b) Torsi Mekanis



Gambar 10. Pengujian Torsi Motor dengan komposisi 4 Lapisan Magnet: (a) Torsi Elektris; (b) Torsi Mekanis

Terlihat bahwa semakin besar input tegangan yang diberikan pada belitan medan stator sebanding dengan besar torsi yang dihasilkan oleh motor magnet. Sebaliknya,

semakin besar putaran motor maka semakin kecil torsi motor yang terjadi. Hal ini sesuai dengan rumus torsi motor yang diberikan dalam Pers. (6). Demikian halnya dengan

adanya penambahan lapisan gigi magnet rotor juga berpengaruh terhadap torsi yang terjadi pada motor magnet. Sebagai contoh, dalam pengujian komposisi magnet 1 lapis dengan tegangan input 40 Volt diperoleh torsi listrik sebesar 0,04246 N-m dan mengalami peningkatan sebesar 0,0642 N-m pada komposisi magnet 4 lapis. Demikian halnya untuk torsi mekanis, pada torsi maksimum untuk tegangan input 40 Volt diperoleh 0,009 N-m pada komposisi magnet 1 lapis menjadi 0,0225 N-m pada komposisi magnet 4 lapis.

D. Pengaruh Torsi terhadap Jarak Celah Udara dan Variasi Lapisan Magnet

Untuk mengetahui pengaruh torsi motor magnet terhadap jarak celah udara dan variasi lapisan magnet, maka dalam pengujian ini digunakan tegangan input 50 Volt dan 60 Volt. Perbandingan pengukuran nilai torsi diukur berdasarkan variasi lapisan magnet rotor dengan komposisi dari 1 sampai 4 lapisan magnet pada jarak celah udara 1 mm.

Pengaruh peningkatan torsi motor untuk setiap penambahan lapisan magnet NdFeb berbentuk persegi panjang. Pada komposisi magnet 1 lapis dengan tegangan input 50 Volt diperoleh torsi mekanis sebesar 0,01125 N-m dan torsi listrik sebesar 0,054 N-m. Demikian halnya untuk tegangan input 60 Volt terjadi peningkatan torsi mekanis sebesar 0,01575 N-m dan torsi listrik sebesar 0,0645 N-m. Selanjutnya, Terlihat juga bahwa adanya penambahan setiap lapisan pada magnet rotor berpengaruh pada peningkatan torsi motor pada setiap lapisannya. Hal ini disebabkan, karena adanya pengaruh penambahan fluks magnet ketika lapisan magnet ditambahkan. Sebagai contoh untuk torsi mekanis dengan komposisi magnet 1 lapis dengan tegangan input 50 Volt berturut-turut diperoleh peningkatan torsi dari 0,01125 N-m menjadi 0,0135 N-m (2 lapis), 0,0135 N-m (3 lapis) dan 0,027 N-m (4 lapis). Disini juga terlihat bahwa, torsi listrik lebih besar dibandingkan dengan torsi mekanis. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran torsi listrik diperoleh pada daya input motor, sedangkan torsi mekanis diperoleh pada daya output motor.

E. Pembahasan Hasil Penelitian

Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja motor magnet permanen seperti tegangan input, jarak celah udara dan fluks magnet rotor. Sesuai dengan hasil analisis atas pengujian untuk pengaruh tegangan input terhadap putaran menunjukkan bahwa, semakin besar tegangan input semakin besar kecepatan putaran pada motor DC magnet permanen. Hal yang sama juga sudah dikemukakan oleh [9] bahwa nilai torsi meningkat seiring meningkatnya input tegangan. Dalam hal ini menunjukkan bahwa besar tegangan jangkar medan akan mempengaruhi putaran motor DC. Selain itu, arah putaran dari motor DC magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada jangkar.

Selanjutnya, salah satu keistimewaan dari motor DC magnet permanen ini adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan nilai tegangan yang diberikan di jangkar [10]. Sebaliknya, kecepatan motor berbanding terbalik dengan torsi. Menurut [11], torsi hasil

perhitungan dari putaran motor cenderung meningkat dengan menurunnya putaran jangkar sesuai dengan literatur. Seperti yang telah dijelaskan dalam Pers. (5), gaya yang timbul pada rotor akan menghasilkan momen putar atau torsi.

Kemudian kecepatan putaran juga dipengaruhi oleh jarak celah udara dan variasi penambahan lapisan magnet. Artinya bahwa semakin besar penambahan lapisan magnet dengan jarak celah udara yang semakin kecil maka kecepatan putarannya juga akan semakin besar. Demikian sebaliknya, semakin kecil lapisan magnet dan jarak celah udara semakin besar maka kecepatan putarannya akan semakin menurun. Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran pada kecepatan putaran pada desain motor DC magnet permanen terbukti bahwa, dengan inputan tegangan medan tertinggi 60 Volt terhadap 4 variasi penambahan lapisan magnet diperoleh kecepatan putaran yang lebih besar. Pada penambahan 4 lapisan magnet diperoleh kecepatan putaran tertinggi yaitu 860 Rpm dengan jarak celah udara 1 mm untuk inputan tegangan medan 60 Volt. Hasil ini lebih besar dibandingkan dengan inputan tegangan medan 40 Volt dan 50 Volt terhadap 1 lapisan magnet, 2 lapisan magnet dan 3 lapisan magnet dengan jarak celah udara 1 - 4 mm. Hal yang sama juga sudah dibuktikan oleh [12] dalam perancangan magnetic gear. Ketika lapisan magnet NdFeB persegi panjang disusun secara paralel akan mengurangi reluktansi magnet dibanding disusun secara seri sehingga dapat menurunkan reluktansi magnet berkurang dan dapat meningkatkan fluks magnet.

Berkaitan dengan pengaruh lapisan magnet rotor terhadap torsi motor DC magnet permanen menunjukkan bahwa, penambahan lapisan magnet dapat mempengaruhi perolehan nilai torsi motor. Dalam hal ini, semakin banyak lapisan magnet (4 lapisan) maka fluks magnet akan semakin besar sebanding dengan nilai torsi motor. Dalam hal ini fluks magnet rotor akan berpengaruh langsung dengan torsi motor DC. Hal ini juga menunjukkan bahwa semakin besar diameter magnet semakin besar juga fluks yang dihasilkan oleh magnet tersebut, Dengan demikian, semakin besar diameter motor semakin besar torsi yang dihasilkan oleh motor magnet. Hal ini juga telah dikemukakan oleh [13], semakin besar dimensi magnet akan mempengaruhi torsi motor. Seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2 berturut-turut diperoleh pengukuran fluks magnet sebesar 117.97 mT (1 lapisan magnet), 146.67 mT (2 lapisan magnet), 181.25 mT (3 lapisan magnet), dan 202.54 mT (4 lapisan magnet). Dengan penambahan 4 lapisan magnet permanen persegi panjang memperoleh nilai torsi yang lebih besar dibandingkan dengan ketiga variasi lapisan magnet lainnya. Dari hasil pengukuran pada komposisi rotor dengan 4 lapisan magnet permanen dengan tegangan medan 60 Volt, dan jarak celah udara 1 mm diperoleh torsi listrik maksimum 0,0853N-m, dan torsi mekanis maksimum 0,02925 N-m.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis pada desain motor DC magnet permanen dengan menggunakan magnet

NdFeb persegipanjang diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan input medan dapat mempengaruhi kecepatan putaran pada desain motor DC magnet permanen. Semakin besar tegangan input dengan lapisan magnet yang semakin banyak terhadap jarak celah udara yang semakin kecil akan menghasilkan kecepatan putaran yang lebih besar.
2. Variasi penambahan lapisan magnet dapat meningkatkan torsi motor DC magnet permanen. Hasil pengukuran membuktikan bahwa pada 4 lapisan magnet memperoleh nilai fluks lebih besar sehingga dapat meningkatkan perolehan torsi.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, jarak celah udara pada desain motor DC magnet permanen dapat berpengaruh pada torsi motor. Semakin kecil jarak celah udara, torsi motor semakin besar, sebaliknya semakin besar jarak celah udara maka torsi motor DC magnet permanen akan semakin menurun. Dari hasil pengukuran dapat membuktikan bahwa, jarak celah udara 1 mm diperoleh torsi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada kepala Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik yang telah memberikan fasilitas dalam pengujian dan pengambilan data dalam penelitian ini

REFERENSI

- [1] Sumardjati, "Motor Magnet Permanen Sebagai Penghasil Gaya Dan Putaran Tanpa Energi Listrik," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 3, no. 29, p. 156, 2012.
- [2] J. Santiago and H. Bernhoff, "Comparison between axial and radial flux PM coreless machines for flywheel energy storage," *J. Electr. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–13, 2010.
- [3] M. J. Kramer, R. W. Mccallum, and I. A. Anderson, "Prospects for Non-Rare Earth Permanent Magnets for Traction Motors and Generators," vol. 64, no. 7, pp. 752–763, 2012, doi: 10.1007/s11837-012-0351-z.
- [4] M. Chen, K. T. Chau, W. Li, and C. Liu, "Development of Non-rare-earth Magnetic Gears for Electric Vehicles," vol. 10, no. 2, pp. 1607–1613, 2012.
- [5] M. T. Thompson, "Practical Issues in the Use of NdFeB Permanent Magnets in Maglev , Motors , Bearings and Eddy Current Brakes," 2008.
- [6] M. Siregar, L. E. Joe, and T. Nur, "Study the Effect of Combination of Shoe Height and Slot Opening width to Reduce Cogging Torque in Permanent Magnet Generator Study the Effect of Combination of Shoe Height and Slot Opening width to Reduce Cogging Torque in Permanent Magnet Generator," 2020, doi: 10.1088/1757-899X/807/1/012011.
- [7] N. Chen, S. L. Ho, and W. N. Fu, "Optimization of Permanent Magnet Surface Shapes of Electric Motors for Minimization of Cogging Torque Using FEM," vol. 46, no. 6, pp. 2478–2481, 2010.
- [8] S. Syam, S. Soeparman, D. Widyanuriawan, and S. Wahyudi, "IOP Conference Series : Materials Science and Engineering PAPER • OPEN ACCESS A New Design of Magnetic Gear Axial using a Rectangular NdFeB Magnetic Layer A New Design of Magnetic Gear Axial using a Rectangular NdFeB Magnetic Layer," 2019, doi: 10.1088/1757-899X/494/1/012053.
- [9] S. A. Ananda, J. S. S, and B. A. S, "Studi Penggunaan Permanen Magnet Servo Motor Tegangan 460 V DC 1850 Rpm Pada Mesin Potong Karton," *J. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 98–104, 2002, doi: 10.9744/jte.2.2.
- [10] B. J. Hutagaol, "Analisa pengaruh kecepatan putar dan beban terhadap keluaran generator sinkron tiga fasa kecepatan rendah," *Saintek ITM*, vol. 32, pp. 16–20, 2019.
- [11] A. Hindasyah and S. Agus, "Uji fungsi magnet permanen elastis p3ib pada motor listrik arus searah," *Pros. Semin. Nas. Bahan Magn. I, Serpong*, pp. 82–86, 2000.
- [12] S. Syam, S. Kurniati, and R. Ramang, "Design and characteristics of axial magnetic gear using rectangular magnet," *J. Eur. des Syst. Autom.*, vol. 53, no. 2, pp. 167–175, 2020, doi: 10.18280/jesa.530202.
- [13] R. Kumalasari, "Pengaruh Diameter Kumparan Armature Terhadap Torsi dan Daya Motor Listrik," *Skripsi, Jur. Tek. MESin, Univ. Negeri Semarang*, 2019.

KAJIAN POTENSI PLTMH SUNGAI KALIMANTING DESA KAYU INDAH UNTUK KELISTRIKAN PEDESAAN KECAMATAN BATU PUTIH KABUPATEN BERAU

Blasius Selly Ngama¹, Fitriani Said²

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Indonesia

¹blasiusngama98@gmail.com

²fitrianiubt22@gmail.com, fitriani@borneo.ac.id

Abstract—The reduced availability of electrical energy in the rural area of Batu Putih District requires us to look for alternative power plants to meet the increasing demand for electrical energy. The increase in the amount of electricity needed is not balanced with the availability of fossil fuels. Thus we need to develop new and renewable energy that is more environmentally friendly and can reduce the use of fossil energy. One of the power plants that will be developed is PLTMH, seeing the rural conditions that have several rivers that have the potential to develop PLTMH. From the results of measurements and calculations made, it was found that the water fall height was 20 m and the water discharge was 15,09 and the use of platoon turbines with an efficiency value of 0.85. Then the resulting power value from this generator is 2,22 kiloWatt.

Keywords— PLTMH, Kalimantan River, Districk Batu Putih.

Intisari—Semakin berkurangnya ketersediaan energi listrik di daerah pedesaan Kecamatan Batu Putih mengharuskan kita untuk mencari alternatif pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat. Peningkatan jumlah kebutuhan energi listrik ini tidak diimbangi dengan ketersediaan bahan bakar berupa fosil. Dengan demikian kita perlu mengembangkan energi baru dan terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan dapat mengurangi penggunaan energi fosil. Salah satu pembangkit listrik yang akan di kembangkan adalah PLTMH, melihat kondisi pedesaan yang memiliki beberapa aliran sungai yang berpotensi untuk mengembangkan PLTMH. Dari hasil pengukuran dan perhitungan yang dilakukan di dapatkan tinggi jatuh air sebesar 20 m dan debit air sebesar 15,09 serta penggunaan turbin pleton dengan nilai efisiensi sebesar 0,85. Maka nilai daya yang di hasilakan dari pembangkit ini sebesar 2,22 kiloWatt.

Kata Kunci— PLTMH, Sungai Kalimantan, Kecamatan Batu Putih

I. PENDAHULUAN

Energi listrik Merupakan Salah satu energy yang sangat di butuhkan manusia dalam kehidupan sehari-hari namun pada kenyataannya belum semua masyarakat di Indonesia sudah merasakan dampak penggunaan energy listrik tersebut. Hal ini dikarenakan kurangnya sumber energi listik atau bahan bakar untuk pembangkit energy listrik itu sendiri. Salah satu bahan bakar pembangkit listrik yang banyak di gunakan merupakan bahan bakar fosil.

Di tengah kebutuhan energi listrik yang terus meningkat diiringi dengan berkurangnya persediaan

energi fosil yang selama ini menjadi sumber daya utama sebagai bahan bakar dalam menyediakan energi listrik bagi masyarakat, maka dari itu perlu adanya sebuah trobosan energy bagi keberlangsungan hidup masyarakat di tengah kemajuan teknologi yang sangat pesat yang dimana hampir seluruh teknologi tersebut menggunakan energi listrik untuk menjalankannya. Pembangkit listrik dengan menggunakan energi baru dan terbarukan merupakan salah satu solusi yang sangat dibutuhkan saat ini mengingat energi yang dihasilkan tersedia secara alami. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit listrik energy baru dan terbarukan yang memanfaatkan debit air sebagai sumber energi utamanya.

Pemilihan PLTMH sebagai pembangkit listrik bukan tanpa alasan namun menimbang dari berkurangnya penggunaan energy fosil karena menggunakan air sebagai penggerak utamanya, biaya perawatan yang rendah serta mengurangi dampak kerusakan lingkungan seperti pencemaran udara pada penggunaan bahan bakar fosil yang menimbulkan pencemaran udara.

II. LANDASAN TEORI

PLTMH merupakan pembangkit listrik skala kecil dengan debit air yang kecil. Air yang bisa digunakan untuk PLTMH harus mempunyai kapasitas aliran serta tinggi jatuh air tertentu, yang dapat digunakan untuk PLTMH adalah saluran irigasi dan sungai-sungai dengan cara memanfaatkan tinggi jatuh air dan kapasitasnya mengacu pada jumlah volume aliran air persatuan waktu. Tinggi jatuh air dan kapasitas air berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan. PLTMH bisa menghasilkan listrik hingga 100kW.

Mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro artinya kecil sedangkan Hidro artinya air. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun Mikro Hidro, pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah salah satu pembangkit yang menggunakan sumber energi terbarukan berupa aliran sungai yang dibendung menjadi sebuah bendungan atau waduk. PLTMH sendiri memanfaatkan energi dari debit dan tinggi terjun aliran sungai yang sudah dibendung yang nanti energi tersebut akan diubah menjadi energi mekanik dengan menggunakan turbin air. Setelah itu

energi mekanik pada turbin akan digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan daya listrik.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil serta komponen elektrik dan mekanikal, komponen-komponen tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Waduk (*Reservoir*)

Waduk adalah danau yang dibuat untuk membendung sungai guna memperoleh air sebanyak mungkin sehingga mencapai elevasi. Semakin tinggi debit air maka akan semakin kuat tekanan air saat melewati pipa. Waduk juga berfungsi untuk mengendapkan lumpur dari air. Sehingga perlu adanya kegiatan pembersihan secara berkala untuk mengurangi endapan lumpur.

2. Bendungan (Dam)

Dam berfungsi menutup aliran sungai - sungai sehingga terbentuk waduk. Tipe bendungan harus memenuhi syarat topografi, geologi dan syarat lain seperti bentuk serta model bendungan. Bendungan mempunyai dua keluaran saluran air dimana mengalir pada pipa pesat dan mengalir pada terasering persawahan.

3. Saringan (*Sand Trap*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran - kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasi mesin PLTMH.

4. Pintu Pengambilan Air (*Intake*)

Pintu Pengambilan Air adalah pintu yang dipasang diujung pipa dan hanya digunakan saat pipa pesat dikosongkan untuk melaksanakan pembersihan pipa atau perbaikan. Selain itu *intake* juga berfungsi untuk mengendalikan aliran air ketika debit air kecil. *Intake* ditutup untuk mengalirkan air ke persawahan terasering, setelah persawahan cukup air maka *intake* kembali dibuka sehingga dapat kembali menggerakkan turbin dan generator untuk memproduksi listrik.

5. Pipa Pesat (*Penstok*)

Fungsinya untuk mengalirkan air dari waduk atau dam menuju turbin. Pipa pesat mempunyai posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin. Konstruksinya harus diperhitungkan agar dapat menerima tekanan besar yang timbul termasuk tekanan dari pukulan air.

6. Katub Utama (*Main Valve*)

Katub utama dipasang didepan turbin berfungsi untuk membuka aliran air, menstart turbin atau menutup aliran (menghentikan turbin). Katup utama ditutup saat perbaikan turbin atau perbaikan mesin dalam rumah pembangkit. Pengaturan tekanan air pada katup utama digunakan pompa hidrolik. Katub ini juga berfungsi untuk menghindari benturan yang keras dari air ketika intake dibuka.

7. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Gedung Sentral merupakan tempat instalasi turbin air, generator, peralatan bantu, ruang pemasangan, ruang pemeliharaan dan ruang kontrol.

8. Turbin

Merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin

dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.

9. Generator

Generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo volt Ampere (kVA).

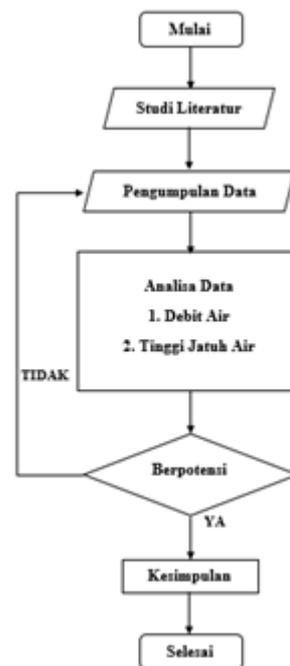
III. METODE PENELITIAN

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di sungai Kalimantanng, Desa Kalimantanng, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur. Lokasi ini di pilih karena memiliki aliran air yang terus mengalir walapun pada musim kemarau. Selain itu daerah ini juga merupakan salah satu daerah yang hingga saat ini belum mendapatkan distribusi energy listrik dari pemerintah, sehingga perlu adanya sebuah pembangkit listrik sebagai solusi bagi kebutuhan energy listrik masyarakat disana.

2. Metode Penelitian

Dalam menyelesaikan penelitian ini penulis menerapkan beberapa metode penelitian, yang ditampilkan dalam flowchart berikut:



Study literatur yaitu melakukan pengumpulan literatur-literatur berupa jurnal penelitian, artikel, buku referensi serta sumber-sumber lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Pengumpulan data dengan melakukan survei berupa pengukuran debit air dan pemetaan topografi. Melakukan studi dan analisis kelayakan

3. Alat dan Bahan

Dalam melakukan penelitian ini di perlukan beberapa alat dan bahan sebagai berikut:

a. Meteran

- b. Botol plastik
- c. Stopwatch
- d. GPS
- e. Alat tulis
- f. Tongkat ukur
- g. Tali plastik

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Dan Pembahasan

Untuk mencari kecepatan arus sungai digunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{D}{T}$$

Dengan:

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- D = Jarak penghanyut (m)
- T = Waktu tempuh (s)

Untuk mencari luas penampang dan debit aliran sungai digunakan persamaan berikut:

$$A = L \times d$$

$$Q = V \times A$$

Dengan:

- Q = Debit aliran sungai (m³/s)
- V = Kecepatan aliran sungai (m/s)
- A = Luas penampang (m)
- L = Lebar penampang (m)
- d = Kedalaman rata rata (m)

Prinsip pembangkitan listrik tenaga mikrohidro merupakan proses konservasi energi air menjadi energi listrik. Air dalam jumlah tertentu yang jatuh karena gravitasi dari ketinggian tertentu menggerakkan turbin yang ada pada PLTMH ysnng selanjutnya memutar generator untuk membangkitkan tenaga listrik.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran

Jarak (M)	0-10						Rata Rata
Lebar Sungai (M)	6,1						
Kedalaman (Cm)	36	34	35	31	15		30,2
Kecepatan Botol (menit)	1/4	2,00	1,3	1,32	1,04	1,2	1,372
	1/2	1,3	1,03	1,14	1,2	1,3	1,194
	3/4	1,2	1,08	1,1	1,15	1,19	1,144
	1	1,51	1,11	1,03	1,09	1,1	1,168

Tabel 2 Hasil Perhitungan Debit Air

V = D/T	A = L x d	Q = V x A
7,288629738	184,22	1342,71137
8,37520938		1542,881072
8,741258741		1610,314685
8,561643836		1577,226027
Debit rata -rata		1518,28329

Daya yang di hasilkan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P = g \rho H Q \eta_t \eta_g \eta_r$$

Dengan:

- P = Daya listrik (watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

Q = Debit (m³/detik)

H = Tinggi terjun air efektif (m)

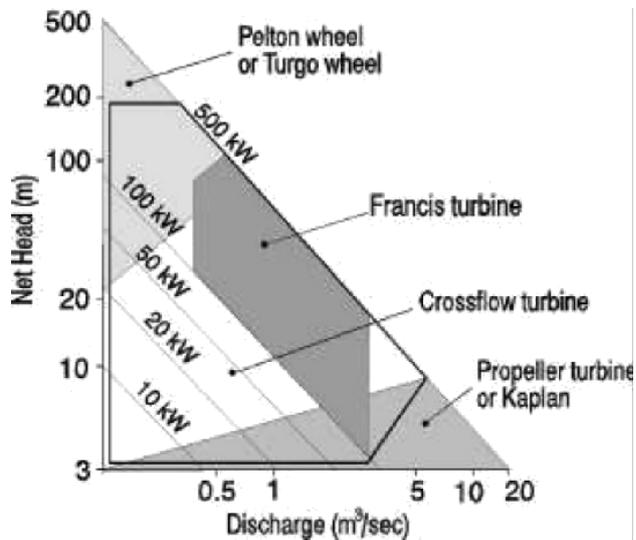
η_t = Efisiensi dari turbin

η_g = Efisiensi dari generator

η_r = Efisiensi dari transmisi mekanik

g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Pengaruh ketinggian jatuh air efektif (H_{net}) dan besarnya debit air (Q) dalam pemilihan turbin dilihat pada gambar daerah operasi turbin di bawah ini.



Gambar 1 Daerah operasi pemilihan turbin air

Tabel 3 Efisiensi turbin air

No.	Jenis Turbin	Efisiensi (η)
1.	Kaplan dan Propeller	0,8 – 0,9
2.	Francis	0,8 – 0,9
3.	Pelton	0,8 – 0,85
4.	Crossflow	0,7 – 0,8

Sumber : Fitriani Said, 2009

Tenaga air yang dapat digunakan adalah aliran air yang mengalir karena perbedaan tingkat ketinggian baik dari air terjun, aliran sungai danau atau bendungan. Pengukuran ketinggian tempat ini menggunakan GPS. Ketinggian jatuh air efektif (H_{net}) dari tingkat yang paling tinggi ke tempat yang paling rendah dimanfaatkan untuk memutar turbin yang selanjutnya akan memutar generator. Ketinggian jatuh air efektif dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$H_{eff} = H_{bruto}$$

$$H_{bruto} = \text{elevasi upstream} - \text{elevasi downstream}$$

Dengan:

H_{bruto} = perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir

Sehingga di dapatkan nilai ketinggian sebagai berikut:

$$H_{bruto} = \text{elevasi upstream} - \text{elevasi downstream}$$

$$= 105 \text{ m} - 85 \text{ m}$$

$$H_{bruto} = 20 \text{ m}$$

Maka:

$$H_{eff} = H_{bruto}$$

$$= 20 \text{ m}$$

Perhitungan nilai daya yang dihasilkan :

$$\begin{aligned} P &= g \times H \times Q \times n_t \times n_g \times n_{beit} \\ &= 9,8 \times 20 \times 15,09 \times 0,9 \times 0,85 \times 0,98 \\ &= 2.217 \text{ w} \\ P &= 2,22 \text{ kW} \end{aligned}$$

Energi yang dihasilkan selama satu hari adalah:

$$\begin{aligned} E &= P \times t \\ &= 2,22 \times 24 \\ E &= 53,28 \text{ kW} \end{aligned}$$

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dilapangan serta analisa perhitungan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan nilai tinggi jatuh air yang dihasilkan turbin air yang cocok digunakan adalah turbin air jenis *Propeller* dengan nilai efisiensi sebesar 0,9
2. Nilai daya yang dihasilkan pada saat musim kemarau selama satu hari sebelum terhubung ke generator adalah sebesar 57,12 kW, sedangkan setelah dihubungkan ke generator nilai daya yang dihasilkan menjadi 47,76 kW
3. Nilai daya yang dihasilkan pada saat musim penghujan selama satu hari sebelum terhubung ke generator adalah sebesar 63,84 kW, sedangkan setelah dihubungkan ke generator nilai daya yang dihasilkan menjadi 53,28 kW
4. Berdasarkan nilai daya dari hasil analisa yang dilakukan maka dapat dikatakan bahwa sungai Pancakaria memiliki potensi sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro yang cukup baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi masyarakat di kecamatan Batu Putih kabupaten Berau.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Segenap Civitas Akademika Fakultas Teknik terutama Jurusan Teknik Elektro, Pemerintah Daerah Kabupaten Barau dalam hal ini aparat desa Kayu Indah dan rekan-rekan Tim Energi Terbarukan Teknik Elektro yang telah banyak membantu Penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Alternate Hydro Energy Centre, 2007. Mini Hydro Electric Based Electrical Power Plant (2 x 75 kW). Indian Institute of Technology Roorkee, India
- [2] Hamdi, 2014. "Energi Terbarukan". Kencana, Jakarta. S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [3] Sukandarrumidi, K.Z. Hery, W.Djoko., 2015. "Energi Terbarukan Konsep Dasar menuju Kemandirian Energi". UGM Press, Yogyakarta. R. E. Sorace, V. S. Reinhardt, and S. A. Vaughn, "High-speed digital-to-RF converter," U.S. Patent 5 668 842, Sept. 16, 1997.
- [4] Triatmodjo, B., 2008. "Hidrologi Terapan". Beta Offset, Yogyakarta. *FLEXChip Signal Processor (MC68175/D)*, Motorola, 1996.
- [5] Fitriani, dkk. 2009, "Kajian Potensi Sumberdaya Energi Alternatif Kota Tarakan..
- [6] Isnaeni, M.B.S., 2005. Motor Induksi sebagai Generator (MIsG). Jurusan Teknik Elektro FT UGM, Seminar

- Nasional Ketanagalistrikan, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [7] Ngadirin, 2004. Suatu Kajian Pembangkitan Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Teknik Elektro* Volume 4 Nomor 1, Januari-April