

**PRIME RESEARCH GRANT**

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN**



**PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK MOBILE NANO HYDRO**

**Oleh :**

**Ketua Pelaksana:**

Anwar Mujadin, S.T., MT. (12.01.3.1.0213)

**Anggota Pelaksana:**

Syafitri Jumianto, S.Si, M.Si (03.01.4.1.0049)

Aji Rachmat Hidayat (0103518010)

Ariel Putra Wibisono (0103518014)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**NOVEMBER 2020**

**LEMBARAN PENGESAHAN  
PROPOSAL PRIME RESEARCH GRANT**

- 1. Judul Penelitian/Abdimas** : Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro  
**Bidang Ilmu** : Teknik Elektro (Mekatronika)
- 2. Ketua Peneliti/Pengabdian Masyarakat**  
a. Nama Lengkap dan Gelar : Anwar Mujadin ST, MT.  
b. Jenis Kelamin : Laki-Laki  
c. Golongan/Pangkat/NIP : III C/Pengatur Muda/12.01.3.1.0213  
d. Jabatan Fungsional : Lektor  
e. Fakultas/Program Studi : Fakultas Sains dan Teknologi/Teknik Elektro  
f. Pusat Penelitian :
- 3. Alamat Ketua Peneliti/Pengabdian Masyarakat** :  
a. Alamat Kantor/tel/fax/email : Universitas Al Azhar Indonesia (UAI)  
Komplek Masjid Agung Al Azhar Indonesia  
Jl. Sisingamangaraja Kebayoran Baru  
Jakarta Selatan 12110.  
Telp.021-2172790532 Fax.021-7244767  
Email : amujadin@uai.ac.id  
b. Alamat rumah/tel/fax/email : Graha Cilebut Cluster B/29 RT.001/RW.011  
Kel. Cilebut Timur Kec. Sukaraja Bogor 16710  
HP. 085813273175
- 4. Jumlah anggota penelitian** : 1  
a. Nama anggota 1 : Syafitri Jumianto (03.01.4.1.0049)  
b. Nama anggota 2 :
- 5. Lokasi Penelitian/Abdimas** : Laboratorium Teknik Elektro.
- 6. Kerjasama dengan institusi lain** :  
a. Nama Institusi :  
b. Alamat :  
c. Telp/Fax/Email :
- 7. Lama Penelitian/Abdimas** : 8 (Delapan) bulan
- 8. Biaya yang diajukan** :  
a. Sumber dari Universitas : Rp. 9.000.000,-  
b. Sumber lain,sebutkan : -  
c. Jumlah : Rp. 9.000.000,-

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

( Ir. Hidayat Yorianta Sasaerila, M.Sc, Ph.D)

Jakarta, 20 November 2020  
Ketua Peneliti

(Anwar Mujadin, S.T, M.T. )

Menyetujui,  
Ketua LP2M Universitas Al Azhar Indonesia

(Dr. Dewi Elfidasari, M.Si)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Khusus Penelitian.....	2
1.4 Manfaat dan Urgensi penelitian .....	2
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Kincir Air .....	3
2.2 Gaya apung .....	5
2.3 Generator DC.....	6
2.4 Buck Converter .....	7
2.5 Ultra Capacitor dan Batteray.....	9
2.6 Road Map Penelitian .....	12
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	13
1.1 Langkah dan Strategi Penelitian.....	13
1.2 Mekanisme Pengumpulan data dan Karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe	13
<b>BAB 4 HASIL PEMBAHASAN</b> .....	14
4.1 Blok Diagram .....	14
4.2 Rancang Bangun Perhitungan dan Pengukuran dan Analisa.....	15
4.2.1 Karakterisasi generator DC895 .....	16
4.2.2 Analisa perhitungan Ultra Capacitor Sebagai penyimpan energi .....	17
4.2.3 Buck Converter DC to DC XL4015 (3A).....	19
4.2.4 Perhitungan Daya .....	20
4.3 Coeficient of Performance.....	23
4.4 Rancang Bangun Hardware.....	24
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	25
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	27
<b>SURAT PERNYATAAN PENDAYAGUNAAN SARANA PRASARANA</b> ....	28
<b>SURAT PERNYATAAN STANDAR MUTU K4</b> .....	29
<b>LAMPIRAN_LAMPIRAN</b> .....	30

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kincir air undershot.....	4
Gambar 2.2	Simbol-simbol dasar pada sebuah bangunan apung [2].....	5
Gambar 2.3	Rangkaian dalam generator DC [5].....	6
Gambar 2.4	Prinsip kerja generator DC [5].....	7
Gambar 2.5	Rangkaian buck converter [6].....	7
Gambar 2.7	Rangkaian ekivalen buck dengan Mosfet on diode off [7].....	8
Gambar 2.8	Konstruksi sederhana kapasitor plat sejajar [8].....	9
Gambar 2.9	Konstruksi sederhana ultra capacitor, sebelum pengisian (kiri) setelah pengisian (kanan) [9].....	10
Gambar 2.10	Ultracapacitor (kiri) memiliki kerapatan energi (kapasitas wadah air) yang lebih rendah daripada baterai, tetapi kerapatan daya (lubang keluar masuk air) yang lebih besar daripada baterai.....	11
Gambar 2.11	Road map penelitian (energi).....	12
Gambar 4.1	Blok Diagram prototipe pembangkit listrik mobile nano-hydro	14
Gambar 4.2	Grafik tegangan keluaran terhadap kecepatan putar (rpm) pada generator DC895.....	16
Gambar 4.3	Susunan seri-parallel 4 buah ultra capacitor sebagai power bank.....	17
Gambar 4.4	Rangkaian BMS 1 cel ultra capacitor.....	18
Gambar 4.5	Empat buah ultra capacitor dengan BMS.....	19
Gambar 4.6	Buck converter DC to DC XL4016 (3A) sebagai pengisi ultra capacitor dengan pengaturan CC dan CV.....	19
Gambar 4.7	Korelasi antara arus dan tegangan pada pengisian ultra capacitor	21
Gambar 4.8	Korelasi putaran (rpm) terhadap keluaran tegangan generator....	22
Gambar 4.9	Hubungan antara kecepatan generator (tegangan masukan XL4016) terhadap tegangan keluaran XL4016.....	23
Gambar L1	Bill of Material “Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro”.....	30
Gambar L2.	Foto screen shoot hasil penelitian .....	31

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan spesifikasi ultracapacitor dengan baterai Li-ion [10][11].....	11
Tabel 4.1	Tabel 4.1 pengukuran putaran (rpm) versus tegangan keluran generator.....	16

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L1	Skematik Buck DC-DC Converter XL4016.....	30
Lampiran L2	Foto screen shoot hasil penelitian.....	31

## RINGKASAN

Berawal dari keprihatinan banjir yang melanda Ibukota Jakarta tak terkecuali daerah bogor, depok, bekasi dan tangerang di hari pertama tahun 2020. Banjir ini juga membuat sejumlah daerah di Jakarta, Bekasi, dan Tangerang, mengalami pemadaman listrik dengan durasi waktu yang cukup lama. Pemadaman listrik menjadi polemik tersendiri terutama bagi warga perumahan (rumah tangga) yang tidak dilengkapi dengan genset. Saat ketinggian air hampir 1 meter lebih, ditambah adanya pemadaman listrik mengakibatkan kepanikan warga terjebak dirumah sendiri dalam kondisi tak menentu. Kondisi ini mengakibatkan warga menjadi terisolir sehingga sulit untuk mendapatkan bantuan pasokan makanan, minuman dan pakaian kering baik itu dari pihak rescue (evakuasi) maupun pihak keluarga. Tak terelakan saat pemadaman listrik semua handphone (HP) tidak bisa difungsikan karena baterai HP drop dan tidak bisa di-charge.

Dari kasus diatas, melalui *prime research grant* 2020, akan dikembangkan sebuah prototipe pembangkit listrik mobile nano-hydro. Pembangkit listrik nano-hydro ini adalah memanfaatkan aliran air banjir untuk menggerakkan baling-baling (turbin) kemudian dikonversikan ke generator listrik yang mampu dimanfaatkan sebagai sumber penerangan maupun untuk *recharge* baterai HP.

Hasil penelitian didapatkan karakterisasi dari sistem antara lain: setiap perubahan kecepatan masukan 1 rpm mengakibatkan perubahan tegangan keluaran sebesar 7,4 mV. Pengisian tegangan maksimal disetiap sel ultra capacitor adalah maksimum 2,7V, untuk mencegah kerusakan sel ultra capacitor dan menjaga keseimbangan muatan yang stabil, maka diperlukan rangkaian elektronik battery management system (BMS). Buck converter DC to DC XL4016 (3A) sebagai pengisi ultra capacitor dengan pengaturan *constant current* (CC) dan *constant voltage* (CV), memungkinkan ultra capacitor diisi dengan tegangan dan arus konstan sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada ultra capacitor karena perubahan peak kelistrikan. Karakteristik dari ultra capacitor hampir sama dengan baterai litium pada umumnya, namun perbedaannya mencolok pada tegangan awal. Ultra capacitor masih bisa di-charge walaupun benar-benar tegangan awal 0V. Namun baterai litium bila tegangan awal sama dengan 0V, maka dapat dikatakan baterai tersebut dalam keadaan rusak (tidak bisa di-charge). Dari hasil percobaan terlihat bahwa pengisian ultra capacitor dari 0V sampai 5V memerlukan waktu  $\pm 17$  menit menggunakan buck converter XL4016 pada tegangan masukan 12V. Tegangan 12V akan muncul bila generator digerakan pada kecepatan antara 1400-1500 rpm. Keluaran tegangan 6.5V akan muncul bila generator digerakan pada kecepatan antara 750-800 rpm. Kedua kecepatan tersebut menjadi patokan agar keluaran buck converter XL4016 yang distabilkan masih konstan sebesar 5V. Dibawah 700 rpm dipastikan sistem converter XL4016 akan *shutdown* dan tidak mampu meregulasi tegangan keluaran sebesar 5V. Untuk melihat efisiensi sistem adalah dengan cara menghitung *coefficient of performance* (COP) dari sistem. Sistem charging yang baik adalah bila memiliki COP lebih besar dari 1. Pada penelitian ini sistem memiliki COP sebesar 6,75.

Prototipe bisa diproduksi massal dengan harga terjangkau baik oleh masyarakat maupun pihak *rescue* pada saat terjadi bencana banjir untuk melakukan evakuasi. Luaran dari kegiatan ini terdiri dari kekayaan intelektual (KI) paten dan jurnal penelitian bereputasi.

**Kata Kunci** : Generator Listrik Mobile Nano Hydro

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Berawal dari keprihatinan banjir yang melanda Ibukota Jakarta tak terkecuali daerah bogor, depok, bekasi dan tangerang di hari pertama tahun 2020. Banjir ini sebagai dampak dari hujan deras yang mengguyur sejak Selasa sore (31 Desember 2019) hingga Rabu siang (1 Januari 2020). Banjir ini juga membuat sejumlah daerah di Jakarta, Bekasi, dan Tangerang, mengalami pemadaman listrik dengan durasi waktu yang cukup lama. Menurut keterangan pihak PLN, ada beberapa alasan listrik dipadamkan saat banjir. Pertama, untuk keamanan dan keselamatan masyarakat. Kedua, keamanan dan keselamatan personil PLN. Ketiga, keamanan peralatan instalasi listrik masyarakat dan PLN. PLN sendiri akan memadamkan listrik dalam beberapa kondisi karena baik rumah pelanggan, gardu distribusi dan gardu induk ikut tenggelam karena banjir.

Pemadaman listrik menjadi polemik tersendiri terutama bagi warga perumahan (rumah tangga) yang tidak dilengkapi dengan genset. Saat ketinggian air hampir 1 meter lebih, ditambah adanya pemadaman listrik mengakibatkan kepanikan warga terjebak dirumah sendiri dalam kondisi tak menentu. Kondisi ini mengakibatkan warga menjadi terisolir sehingga sulit untuk mendapatkan bantuan pasokan makanan, minuman dan pakaian kering baik itu dari pihak *rescue* (evakuasi) maupun pihak keluarga. Tak terelakan saat pemadaman listrik semua handphone (HP) tidak bisa difungsikan karena baterai HP drop dan tidak bisa di-charge.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat bahwa pada tanggal 4 Januari 2020 jumlah korban meninggal akibat banjir dan longsor di Jabodetabek, Banten, dan Jawa Barat bertambah menjadi 60 orang dan dua diantaranya dinyatakan hilang. Sementara, jumlah warga yang terdampak banjir dan longsor di Jabodetabek mencapai 409 ribu jiwa hingga Kamis (2 Januari 2020) pukul 22.00 WIB. Sebagian lebih dari 173 ribu jiwa ada di tempat-tempat pengungsian [1].

Dari kasus diatas, melalui prime research grant 2020, akan dikembangkan sebuah prototipe pembangkit listrik *mobile* nano-hydro. Pembangkit listrik nano-hydro ini adalah memanfaatkan genangan banjir atau aliran air banjir untuk menggerakkan baling-baling

kemudian dikonversikan ke generator listrik yang mampu dimanfaatkan sebagai sumber penerangan maupun untuk *recharge* baterai HP. Prototipe dilengkapi dengan baling-baling yang cukup di tempatkan pada aliran air banjir yang mengalir untuk mendapatkan energi sebesar 10 Watt (5V/2A). Konfigurasi baling-baling, generator, stabilator tegangan, baterai dan pengendali mikrokontroler membentuk rangkaian sinergi terpadu penghasil listrik. Daya dari generator akan disimpan dahulu dalam konfigurasi ultra capacitor. Energi ultra capacitor tersimpan tersebut akan dimanfaatkan sebagai *power bank* untuk mengaktifkan lampu penerangan maupun *charging* HP.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Saat ini teknis konservasi energi maupun energi terbarukan difokuskan pada skala besar dengan peralatan pendukung yang cukup mahal. Padahal, konservasi energi walaupun skala nano mampu menyelamatkan hidup manusia pada saat emergency. Perlu pembangkit energi alternatif sebagai media untuk menghidupkan peralatan komunikasi untuk meminta bantuan evakuasi disaat terjadi bencana.

## **1.3. Tujuan khusus Penelitian**

Tujuan penelitian adalah membuat prototip pembangkit listrik mobile nano-hydro sebagai divais penghasil listrik untuk menghidupkan lampu penerangan maupun *charging* HP pada saat emergency. Prototip berbentuk *hand held mobile* yang bisa dipegang dan dipindah-pindah kemana-mana. Prototipe bisa diproduksi massal dengan harga terjangkau baik oleh masyarakat maupun pihak *rescue* pada saat terjadi bencana.

## **1.4. Manfaat dan urgensi penelitian**

Manfaat hasil penelitian adalah prototip generator listrik tanpa bahan bakar skala kecil yang mampu dimplementasikan pada aliran air mengalir. Prototip mampu diterapkan secara luas untuk *traveler*, pramuka, militer bahkan untuk kebutuhan listrik daerah pedalaman wilayah Indonesia yang belum tersinggung pasokan listrik. Sehingga urgensi penelitian ini menjadi tolok ukur pihak pemerintah akan kelangsungan energi terbarukan yang kontinyu.

## BAB II

### TINJAUN PUSTAKA

#### 2.1 Kincir Air

Kincir air merupakan jenis turbin yang paling banyak diaplikasikan dalam pembuatannya karena konstruksinya yang mudah dan memiliki efisiensi yang baik. Kincir air ini bekerja dengan cara memanfaatkan tinggi air jatuh  $H$  (*Head*) dan kapasitas air ( $Q$ ). Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain energi tempat (*Head*) adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke sudu-sudunya. Air yang mengalir ke dalam dan ke luar dari kincir air tidak memiliki tekanan lebih hanya tekanan atmosfer saja.

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik yang berupa putaran pada poros kincir [2]. Ada beberapa tipe kincir air yaitu : Kincir air *overshot* kincir air *undershot* dan kincir air *breastshot*.

Debit air pada suatu penampang aliran secara sederhana adalah perkalian antara luas penampang basah dengan kecepatan aliran rata-rata pada penampang tersebut. Seperti terlihat pada persamaan di bawah ini :

$$Q = A.V \quad (2.1)$$

Dimana:

$Q$  = debit air ( $m^3/dt$ )

$A$  = luas penampang saluran ( $m^2$ )

$V$  = kecepatan aliran rata-rata ( $m/dt$ )

Untuk dapat mengetahui daya potensial air dari suatu sumber adalah penting untuk mengetahui kapasitas aliran ( $m^3/det$ ) dan *head* (m) yang tersedia. Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang tersedia adalah [2]:

$$P_a = \gamma . Q . H_E \quad (2.2)$$

Dimana:

$P_a$  = Daya teoritis yang tersedia (Watt)

$\gamma$  = Berat jenis air ( $9.800 \text{ N/m}^3$ )

$Q$  = Kapasitas aliran air ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

$H_E$  = *Head* atau tinggi air jatuh Efektif (m)

Untuk setiap benda berputar persamaan untuk menghitung daya yang dihasilkan yaitu [3][4]:

$$\begin{aligned} P_{out} &= T \times \omega \\ &= T \times (2\pi n / 60) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana :

$P_{out}$  = Daya yang dihasilkan (Watt)

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/det)

$n$  = Putaran (rpm)

Efisiensi turbin/kincir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [3][4]:

$$\eta_{turbin} = P_{out} / P_a \quad (2.4)$$

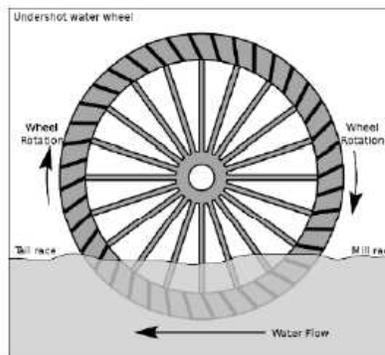
Dimana:

$\eta_{turbin}$  = Efisiensi turbin/kincir (%)

$P_{out}$  = Daya poros yang dihasilkan turbin/kincir (Watt)

$P_a$  = Daya teoritis yang tersedia (Watt)

Kincir air *undershot* bekerja bila air yang mengalir, menghantam dinding sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir air. Pada Gambar 2.1. Diperlihatkan kincir air undershot

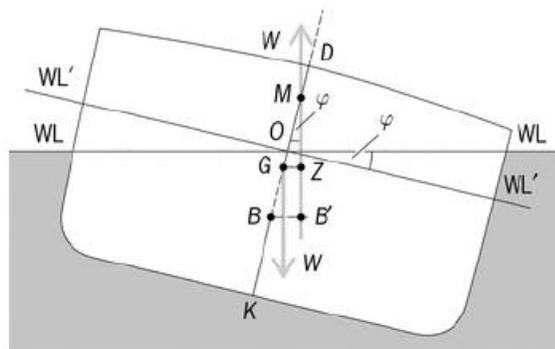


**Gambar 2.1.** Kincir air undershot [4].

Kincir air undershot, cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Keuntungan konstruksi lebih sederhana, lebih ekonomis, mudah untuk dipindahkan. Kerugian efisiensi kecil, daya yang dihasilkan relatif kecil.

## 2.2 Gaya Apung

Jika sebuah benda diam terendam seluruhnya di dalam sebuah fluida atau mengapung sedemikian sehingga hanya sebagian saja yang terendam, gaya fluida resultan yang bekerja pada benda itu disebut “*gaya apung (buoyant force)*”. Sebuah gaya *netto* ke arah atas terjadi karena tekanan meningkat dengan kedalaman dan gaya-gaya tekan yang bekerja dari bawah lebih besar daripada gaya-gaya yang bekerja dari atas. Titik yang dilalui gaya apung yang bekerja disebut pusat apung (*center of buoyancy*). Pada Gambar 2. diperlihatkan simbol-simbol dasar pada sebuah bangunan apung [4].



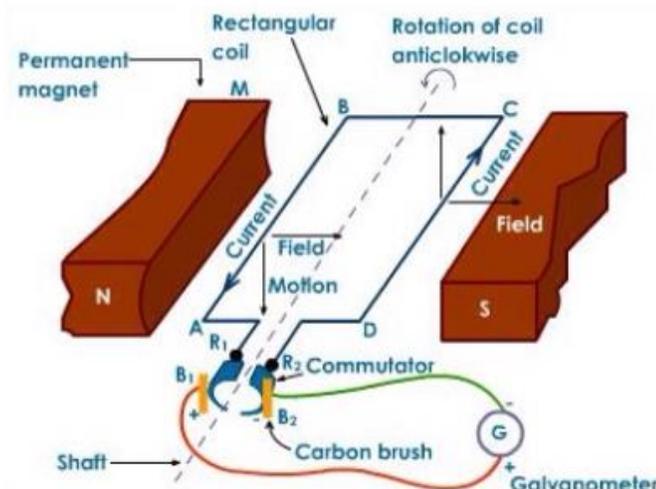
**Gambar 2.2.** Simbol-simbol dasar pada sebuah bangunan apung [4].

## 2.3 Generator DC

Generator DC memiliki komponen yang sama persis dengan motor listrik DC. Rotor generator dikemas dengan sebuah kawat angker penghantar listrik (*armature*) yang membentuk persegi panjang. Pada kedua ujung kawat angker terpasang komutator berbentuk lingkaran yang terbelah menjadi dua, komponen ini sering disebut dengan sebutan cincin belah. Cincin belah termasuk bagian dari rotor, sehingga ia ikut berputar dengan rotor. Sedangkan stator generator tersusun atas dua magnet dengan kutub berbeda yang saling berhadapan. Pada bagian yang kontak langsung dengan cincin belah, stator dilengkapi

dengan sikat karbon yang berfungsi untuk menghubungkan arus listrik yang dibangkitkan pada kawat angker ke rangkaian di luar generator.

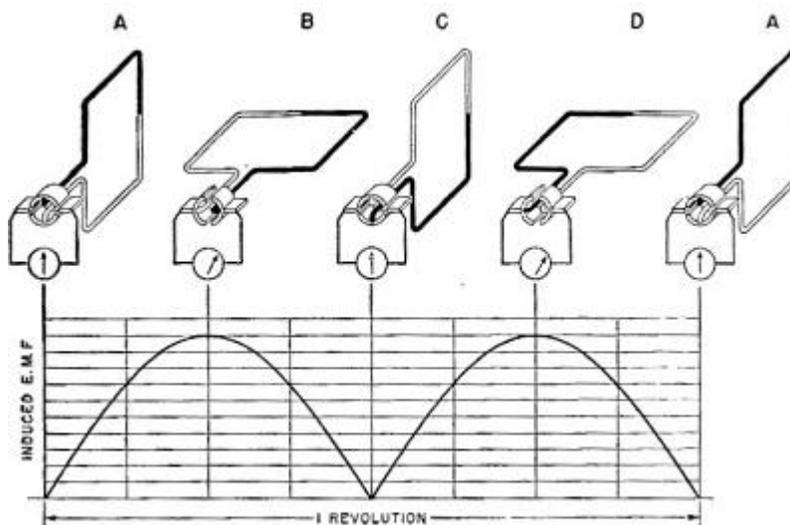
Pada Gambar 2.3 diperlihatkan rangkaian dalam generator DC



**Gambar 2.3** Rangkaian dalam generator DC [5]

Kawat angker ABCD dapat berputar dengan sumbu a-b, dan berada di tengah-tengah medan magnet N-S. Kawat angker sedang dalam kondisi diputar oleh sumber dari luar, dengan arah yang searah putaran jarum jam sesuai pada gambar. Putaran ini memberikan gaya torsi dengan arah yang selalu tegak lurus dengan kawat angker. Kawat A-B mengalami gaya torsi yang mengarah ke bawah (sesuai arah putaran angker). Dengan menggunakan kaidah tangan kanan Fleming, kita akan dengan mudah menentukan arah arus listrik yang terbangkitkan adalah dari titik A ke B. Demikian pula dengan kawat C-D, melalui cara yang sama akan dengan mudah kita tentukan arah arus listrik yang terbangkitkan adalah dari C ke D.

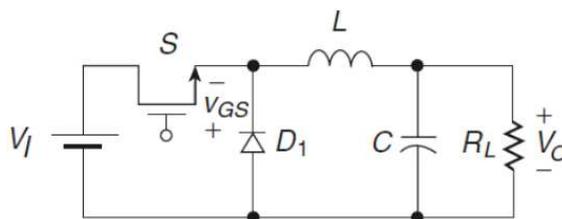
Pada saat arah torsi yang terjadi pada kawat A-B adalah mendatar ke arah kiri, sedangkan untuk kawat C-D arah torsi adalah mendatar ke kanan. Karena vektor torsi ini sejajar dengan garis gaya magnet dan tidak terjadi pemotongan garis gaya magnet, maka pada posisi ini tidak akan timbul gaya gerak listrik. Bila kawat angker kembali berposisi horisontal, pada kondisi ini kembali dengan mudah kita dapat menentukan arah arus listrik yang terbangkitkan. Untuk kawat A-B arus listrik akan mengarah dari B ke A, sedangkan pada kawat C-D arus listrik akan mengarah dari D-C. Pada Gambar 2.4. Diperlihatkan prinsip kerja generator DC [5].



**Gambar 2.4.** Prinsip kerja generator DC [5].

## 2.4 Buck Converter

Buck converter adalah dc-dc converter jenis penurun tegangan atau step down. Buck converter mampu menghasilkan nilai tegangan output sama atau lebih rendah dari tegangan input-nya [5]. Buck converter ini tersusun dari mosfet (saklar aktif) dan dioda (saklar pasif). Saklar pasif dapat diganti dengan aktif pada saat tegangan kerja yang rendah, sehingga dapat mengurangi susut daya yang terjadi [6]. Rangkaian buck converter diperlihatkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Rangkaian buck converter [6]

Pada dasarnya prinsip kerja buck converter menggunakan switch yang bekerja dengan dua mode yaitu switch ON dan switch OFF [6]. Adapun dikenal dengan istilah *pulse width modulation* (PWM). Pada PWM terdapat *duty cycle* yang bekerja mengendalikan kecepatan (frekuensi) kerja switch. PWM merupakan suatu proses membangkitkan sinyal keluaran pada periode berulang antara high dan low, dimana pengaturan durasi dapat diatur sesuai

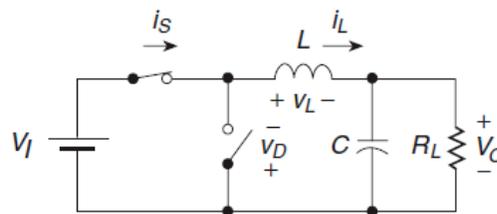
yang dibutuhkan. Sedangkan *duty cycle* adalah representasi ketika kondisi high dalam periode sinyal yang dinyatakan dalam persen (%) dengan range 0-100% [6]. Kontrol switching mosfet dengan prinsip PWM untuk mode on dan off dengan frekuensi switching  $f_s=1/T$  dengan dutycycle sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{ON}}{T} = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = f_s T_{ON} \quad (2.5)$$

Terdapat 2 mode dalam buck converter yaitu :

a. Mode *switch on*

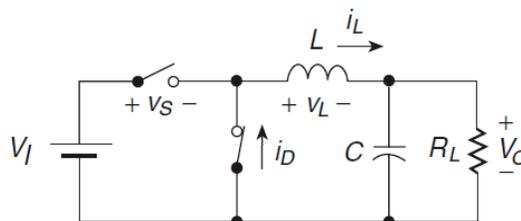
Ketika MOSFET on (tertutup) dan dioda off, arus mengalir dari sumber menuju ke induktor (pengisian induktor), disaring dengan capacitor, lalu ke beban, kembali lagi ke sumber. Rangkaian ekivalen buck dengan Mosfet ON diode off diperlihatkan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6.** Rangkaian ekivalen buck dengan Mosfet on diode off [7]

b. Mode *switch off*

Mode switch off Ketika mosfet off (terbuka) dan diode on arus akan mengalir melalui L, C, beban, dan diode maksimum. Arus induktor akan turun sampai transistor di on-kan kembali pada siklus berikutnya. Energi yang tersimpan pada induktor L dipindahkan ke beban. Rangkaian ekivalen buck dengan mosfet OFF diode ON [7] diperlihatkan pada Gambar 2.7 berikut:

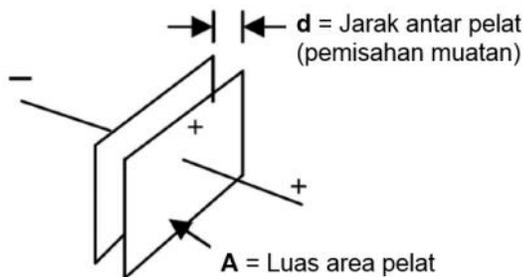


**Gambar 2.7.** Rangkaian ekivalen buck dengan mosfet off diode ON [7]

## 2.5 Ultra Capacitor dan Battery.

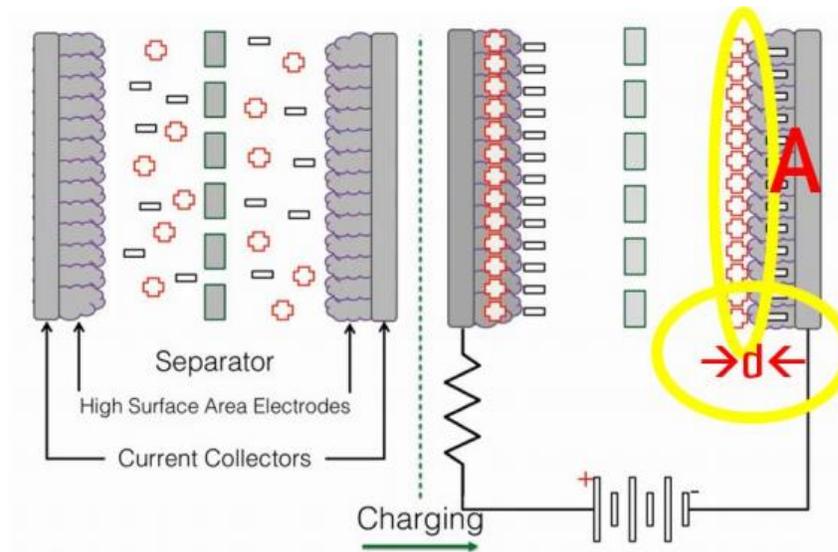
Berbeda dengan capacitor konvensional, ultra capacitor memiliki nilai kapasitansi yang sangat tinggi, sampai dengan ribuan Farad. Karakteristik ultra capacitor bersifat komplemen dengan baterai, misalnya kerapatan daya yang tinggi dan durasi pengisian yang lebih cepat. Usia ultra capacitor juga lebih panjang dan resiko termalnya lebih rendah. Sifat yang komplementer ini menyebabkan ultra capacitor sering digunakan bersama baterai menjadi suatu media penyimpanan energi hybrid.

Mekanisme penyimpanan energi ultracapacitor sama seperti kapasitor konvensional, yaitu dengan pemisahan muatan (*charge separation*). Saat kapasitor diberi beda potensial (proses pengisian), muatan-muatan positif akan terakumulasi di salah satu pelat, dan muatan-muatan negatif di pelat lainnya, menyebabkan timbulnya medan listrik di antara kedua pelat tersebut sebagai manifestasi penyimpanan energi. Kapasitas suatu kapasitor dinyatakan sebagai kapasitansi (dinotasikan sebagai  $C$ , satuan Farad) yang besarnya sebanding dengan luas area pelat ( $A$ , satuan  $m^2$ ) dan berbanding terbalik dengan jarak antar pelat ( $d$ , satuan  $m$ ) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.8 [8].



**Gambar 2.8.** Konstruksi sederhana kapasitor plat sejajar [8].

Nilai kapasitansi capacitor konvensional berkisar sampai dengan beberapa ratus miliFarad. konstruksi sederhana suatu capacitor terdiri dari sepasang elektroda berpori, larutan elektrolit, dan pemisah (separator). Material elektroda memiliki pori-pori yang sangat kecil, sehingga luas area elektroda ultra capacitor sangat besar. Saat proses pengisian, terjadi pemisahan muatan yang hanya dibatasi oleh perbatasan (interface) antara elektroda dengan elektrolit, sehingga nilai  $d$  menjadi sangat kecil. Dengan nilai  $A$  yang tinggi dan nilai  $d$  yang kecil, nilai kapasitansinya menjadi sangat besar. Pada Gambar 2.9 diperlihatkan konstruksi sederhana ultra capacitor sebelum dan setelah pengisian [9].



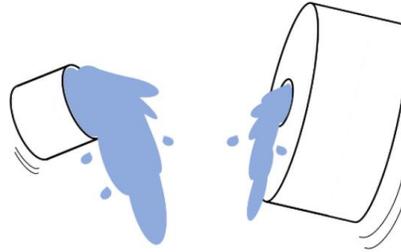
**Gambar 2.9** Konstruksi sederhana ultra capacitor, sebelum pengisian (kiri) setelah pengisian (kanan) [9].

Satu perbedaan yang paling mendasar antara ultra capacitor dengan baterai adalah perbedaan struktur dan materialnya, serta mekanisme penyimpanannya.

Baterai menyimpan energi secara kimiawi, melibatkan reaksi kimia. Terjadi perubahan pada molekul-molekul baterai selama proses pengisian dan pengosongan (*discharging*). Pada ultracapacitor, mekanisme penyimpanan energi tidak melibatkan reaksi kimia, melainkan secara “fisis” dengan pemisahan muatan seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini menyebabkan ultra capacitor dapat diisi dan dikosongkan dalam waktu yang jauh lebih cepat daripada baterai, dan dengan daya yang jauh lebih besar. Pada aspek inilah baterai kalah unggul dengan ultra capacitor, yaitu aspek yang berhubungan dengan daya (satuan: Watt) yang dapat disimpan (*charge*) dan dikeluarkan (*discharge*)

Istilah yang umum digunakan adalah kerapatan daya (daya per satuan volume; Watt per liter) atau daya spesifik (daya per satuan berat; Watt per kilogram). Istilah lain yang juga umum digunakan adalah kerapatan energi (Watt-hour per liter) atau energi spesifik (Watt-hour per kilogram). Seperti ditunjukkan pada analogi di Gambar 2.10, kapasitas wadah air merepresentasikan kerapatan energi, sedangkan lubang keluar masuk air merepresentasikan kerapatan daya. Ultra capacitor memiliki kerapatan energi (kapasitas wadah air) yang lebih

kecil daripada baterai. Akan tetapi, kerapatan daya (lubang untuk keluar - masuk air) lebih besar. Sehingga dalam waktu singkat ultracapacitor dapat mengeluarkan ataupun memasukkan daya (air) dalam jumlah yang besar.



**Gambar 2.10.** Ultracapacitor (kiri) memiliki kerapatan energi (kapasitas wadah air) yang lebih rendah daripada baterai, tetapi kerapatan daya (lubang keluar masuk air) yang lebih besar daripada baterai.

Selain itu, karena baterai menyimpan energi secara kimiawi melalui reaksi redoks, terdapat perubahan fisis yang terjadi saat kondisi charge discharge. Hal ini menyebabkan pada baterai terjadi degradasi material yang lajunya lebih cepat dibanding ultra capacitor, sehingga usia kerjanya lebih pendek daripada ultra capacitor, apalagi jika di-*discharge* dengan daya tinggi (*deep discharge*) [10][11]. Perbandingan beberapa parameter kerja ultracapacitor dengan baterai Li-ion dapat dilihat pada Tabel 2.1.

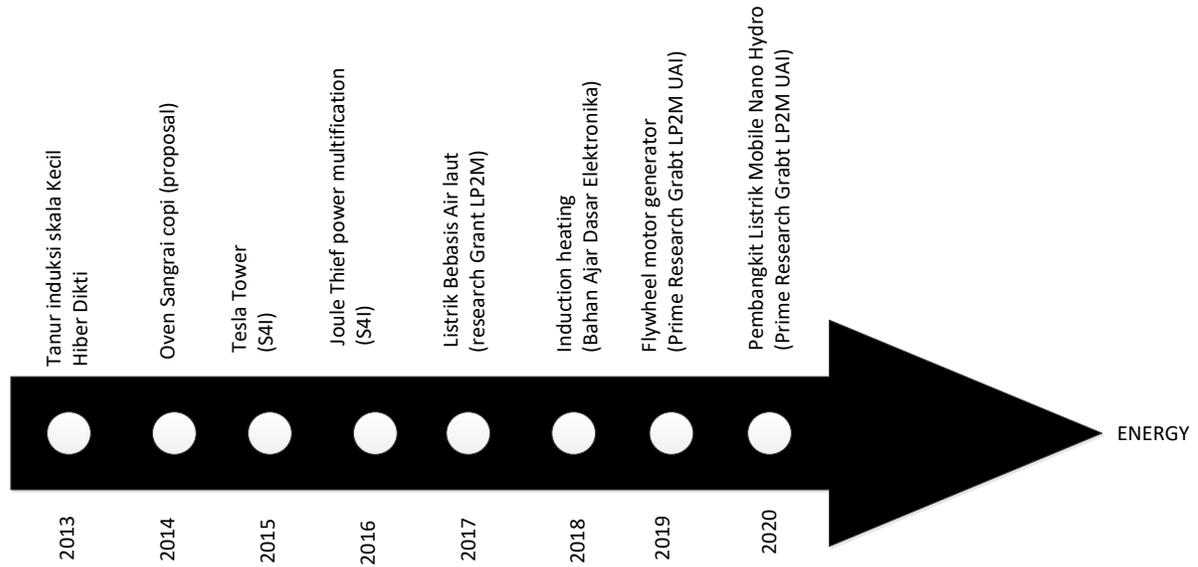
**Tabel 2.1.** Perbandingan spesifikasi ultracapacitor dengan baterai Li-ion [10][11].

Karakteristik	Superkapasitor	Baterai Li-ion
Temperatur kerja	-40 °C ~ 65 °C	Charge: 0 ~ 45 °C, discharge, -20 ~ 60 °C
Durasi discharge	milisekon ~ 60 menit	menit ~ jam
Usia dalam <i>cycle</i>	100.000+	1.000 ~ 10.000+
Energi spesifik (Wh/kg)	2.5 ~ 15	75 ~ 200
Daya spesifik (W/kg)	500 ~ 5.000	150 ~ 315
Biaya per unit energi (\$/kWh)	10.000	100 ~ 2.500
Biaya per unit daya (\$/kW)	130 ~ 515	1200 ~ 4.000

Dengan karakteristik tertentu itulah, aplikasi ultra capacitor juga spesifik. ultracapacitor sangat sesuai untuk aplikasi kebutuhan daya untuk *power bank*.

## 2.6 Road Map

Pada Gambar 2.11 diperlihatkan peta jalan penelitian yang diajukan, yaitu dengan topik besar energi sesuai dengan Renstra Program Studi Teknik Elektro.



**Gambar 2.11** Road map penelitian (energi)

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Dalam metodologi penelitian ini akan dibahas mengenai langkah dan strategi menyelesaikan penelitian, yang dibagi dalam beberapa kriteria diantaranya mengenai: pencarian referensi, waktu dan tempat penelitian, mekanisme pengumpulan data karakterisasi, dan yang terakhir ditutup dengan pengujian performa hasil rancang bangun (prototip) seperti dijelaskan berikut:

#### **3.1 Langkah dan strategi penelitian**

Langkah dan strategi penelitian antara lain:

a. Pencarian Referensi

Pencarian referensi diawali dengan studi literatur mengenai fitur produk berikut harga pasar competitor saat ini. Pencarian referensi diakhiri dengan mengumpulkan data yang berhubungan dengan rancang bangun sistem pendukung hardware beserta sistem pendukung mekanikal.

b. Waktu dan tempat penelitian.

Waktu penelitian dilakukan pada jam kerja, diluar aktivitas praktikum mahasiswa selama 8 bulan. Semua kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Elektro Program Studi Teknik Elektro.

c. Model turbin generator yang disempurnakan.

#### **3.2 Mekanisme pengumpulan data dan karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe**

Pengumpulan data akan dilakukan sepenuhnya melalui hasil eksperimen. Pengambilan data hasil karakterisasi prototipe pembangkit listrik mobile nano-hydro ini antara lain:

- a. Karakterisasi generator DC895 putaran (rpm) terhadap output tegangan.
- b. Analisa perhitungan ultra capacitor sebagai penyimpan energi.
- c. Rancang bangun buck converter DC to DC XL4016 (3A), Karakterisasi karakterisasi pada tegangan 5V dan arus 3A.
- d. Perhitungan daya dan transfer daya sistem.
- e. Menghitung coefficient performance sistem daya masukan dan keluaran.

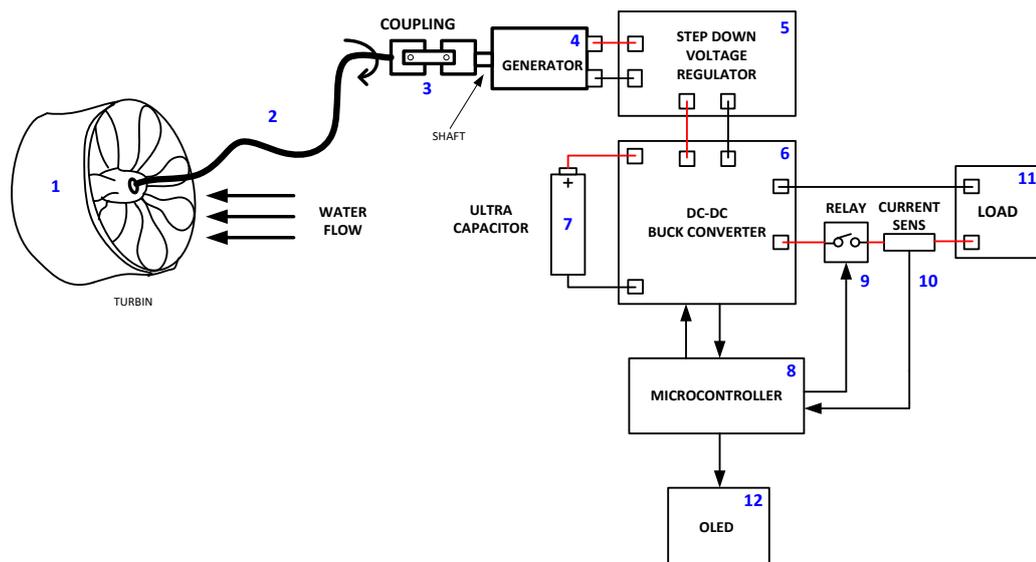
## BAB 4

### HASIL dan PEMBAHASAN

Rancang bangun “Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro” dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

#### 4.1 Blok diagram

Konsep pertama kali rancang bangun sebuah prototipe adalah menuangkan ide kedalam bentuk diagram blok. Dari diagram blok dapat ditentukan berbagai macam parameter seperti: prinsip kerja rangkaian, komponen penunjang, spesifikasi teknis, fitur, estimasi biaya dan lain sebagainya. Adapun diagram blok dari “Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro” diperlihatkan pada Gambar 4.1 berikut:



**Gambar 4.1** Blok Diagram prototipe pembangkit listrik mobile nano-hydro

Prinsip kerja sesuai dengan penomoran dijelaskan sebagai berikut:

1. Aliran air akan menghantam sudu baling-baling, sehingga baling-baling berputar. Kipas baling-baling juga dapat berputar bila dicelup-celupkankan dalam air tenang.
2. Putaran baling-baling diperluas menggunakan kabel putar (kabel baja speedometer).

3. Antara kabel putar dan *shaft* generator dihubungkan dengan coupling logam. Bila turbin berputar maka shaft motor akan ikut berputar.
4. Sebuah generator pembangkit listrik dengan output tegangan antara 12 VDC.
5. Keluaran tegangan dari generator akan diturunkan kemudian disearahkan (regulasi) menjadi sekitar 5 VDC
6. Melalui rangkaian buck converter DC-DC. Tegangan dipertahankan 5 VDC walaupun putaran baling-baling bervariasi (tegangan keluaran generator bervariasi).
7. Keluaran tegangan dari buck converter akan digunakan untuk mencharge ultra capacitor. Ultra capacitor 2.7 VDC/450V (4 buah dipasang seri-parallel) dikonfigurasi pada tegangan 5.4V sebagai penyimpan energi listrik sementara dari generator.
8. Mikrokontroler sebagai pengendali charge-recharge baterai.
9. Relay sebagai pemutus-hubung arus ke beban.
10. Sebuah *current sensing*, bila terjadi *short circuit* atau *over current*, relay (9) akan diputus.
11. Sebuah beban, baik itu lampu penerangan ataupun HP (charging).
12. Sebuah mini LCD sebagai indikator dan monitor dari kinerja sistem pembangkit listrik mobile nano-hydro.

Sistem dikembangkan menggunakan DC 895-12V 3000 rpm sebagai generator DC. Arus produksi maksimum yang dihasilkan oleh generator DC895 adalah maksimum 20W tersimpan dengan 10W terpakai oleh beban. Power bank disusun seri-parallel dari 6 buah ultra capacitor 100F dengan 2.7V/450V, terakhir adalah buck converter DC-DC XL4016 dalam konfigurasi *constant current* (CC) dan *constant voltage* (CV) sebagai pengisi ultra capacitor.

#### **4.2 Rancang Bangun Perhitungan dan Pengukuran dan Analisa.**

Analisa perhitungan difokuskan pada kinerja generator DC895 terutama pada perhitungan kecepatan putar versus tegangan keluaran, ultra capacitor sebagai *power bank*, dan buck converter DC-DC step down XL4016 5A, transfer daya, dan perhitungan *coefficient of performance* (cop).

#### 4.2.1 Karakterisasi generator DC895

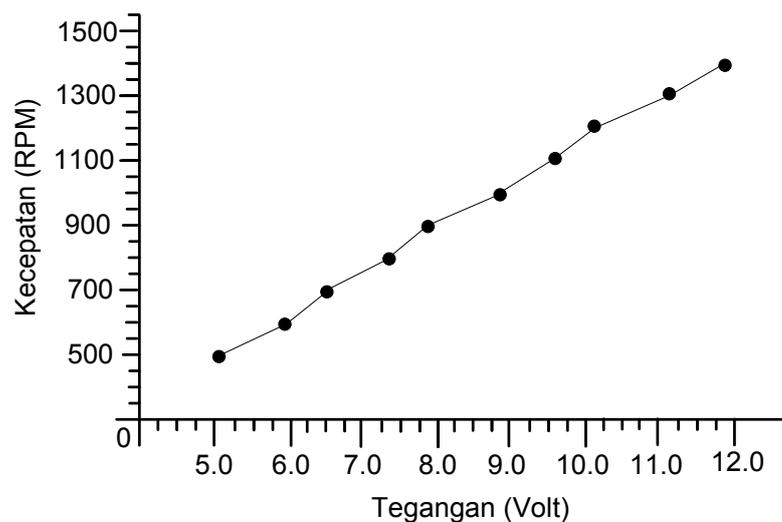
Dynamo yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan motor type DC 895-24V 3000 rpm. Motor ini dipilih karena memiliki tegangan dan arus keluaran tinggi dan bisa dijadikan generator (dynamo).

Hasil karakterisasi pengukuran putaran generator (rpm) DC 895 versus tegangan keluaran diperlihatkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** pengukuran putaran (rpm) versus tegangan keluaran generator

Putaran RPM	Keluaran (Volt)
1400	11,85
1300	10,10
1200	9,94
1100	9,52
1000	8,90
900	7,90
800	7,26
700	6,50
600	5,83
500	5,12

Grafik tegangan keluaran dinamo terhadap kecepatan putar (rpm) pada generator DC895 diperlihatkan pada Gambar 4.2 berikut.



**Gambar 4.2** Grafik tegangan keluaran terhadap kecepatan putar (rpm) pada generator DC895.

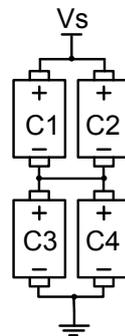
Kecepatan putar (rpm) berbanding lurus dengan keluaran tegangan. Kecepatan sudut generator berbanding lurus dengan kecepatan sudu baling-baling. Semakin besar kecepatan sudut generator maka semakin besar tegangan keluaran dari generator tersebut. Dari grafik 4.1 terlihat bahwa linearitas rpm terhadap tegangan keluaran generator adalah sebesar:

$$(11,85-5,12)V/(1400-500) \text{ rpm} = 6,73 \text{ V}/900 \text{ rpm} = 7,4 \text{ mV}/\text{rpm}$$

Artinya setiap perubahan kecepatan masukan 1 rpm mengakibatkan perubahan tegangan keluaran sebesar 7,4 mV.

#### 4.2.2 Analisa perhitungan Ultra Capacitor Sebagai penyimpan energi

Power bank disusun dari 4 buah ultra capacitor 100F dengan 2.7V/450V, disusun seri-paralell untuk meningkatkan nilai tegangan dan kapasitansi dari kapasitor. Pada Gambar 4.3 diperlihatkan susunan seri-parallel 4 buah ultra capacitor sebagai *power bank*.



**Gambar 4.3** Susunan seri-parallel 4 buah ultra capacitor sebagai *power bank*.

Nilai total kapasitansi dari power bank adalah dirumuskan sebagai:

$$\begin{aligned} C_{\text{total}} &= (C1+C2)/(C3+C4) \\ &= (100+100)/(100+100) \text{ F} \\ &= 200/2 \text{ F} = 100 \text{ F} \end{aligned}$$

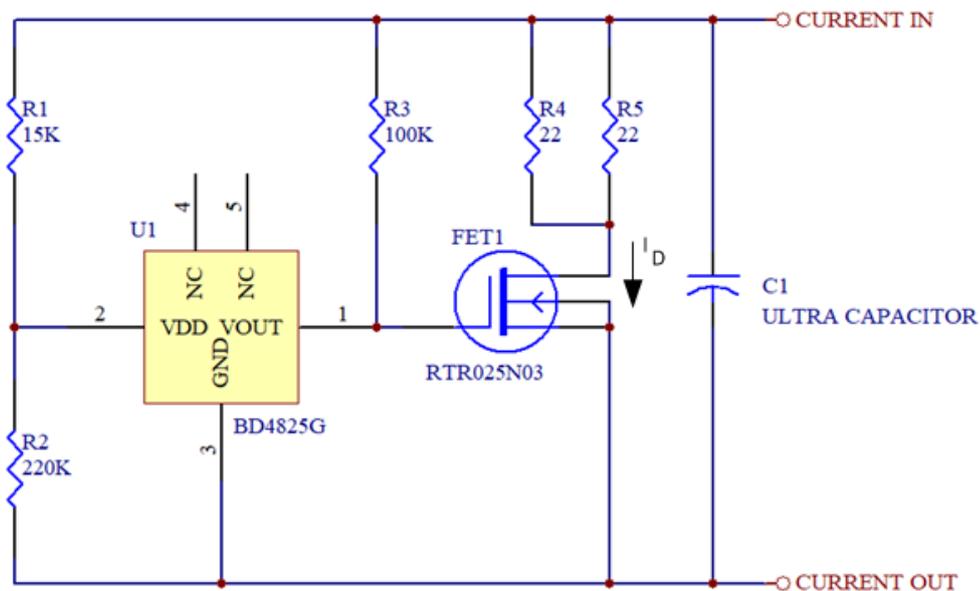
Total tegangan pada ultra capacitor bank dirumuskan sebagai:

$$V_s = V_c = 2,7 \cdot 2 = 5,4 \text{ Volt.}$$

Capacitor akan dionfigurasi pada tegangan maximum 5,4V sesuai dengan pengisi daya. Daya yang tersimpan maksimum dalam capacitor dirumuskan sebagai :

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{1}{2} \cdot C_{\text{total}} \cdot V_c^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot (5.4)^2 \\ &= 1.458 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pengisian tegangan maksimal disetiap sel ultra capacitor adalah maksimum 2,7 V, untuk mencegah kerusakan sel ultra capacitor dan menjaga keseimbangan muatan yang stabil, maka diperlukan rangkaian elektronik *battery management system* (BMS) Rangkaian elektronik BMS 1 cell diperlihatkan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Rangkaian BMS 1 cel ultra capacitor.

Chip BD4825GR (U1) merupakan IC voltage detector 2,5V, resistor R1 dan R2 adalah resistor *voltage sense* untuk pemindai besaran tegangan dari ultra capacitor C1. Besar tegangan pada pin 2 dari U1 diformulasikan sebagai:

$$(R_2 / (R_1 + R_2)) \cdot V_{C1} = (220K / (15K + 220K)) \cdot 2,7V = 2,5V$$

Bila tegangan ultra kapasitor sudah maximum sebesar 2.7V atau teridentifikasi pada pin 2 IC BD425G sebesar 2.5V maka pada pin 1 IC BD425G akan *high*, FET1 akan cut off, dan arus drain  $I_D = 0A$ . namun sebaliknya bila tegangan

kapasitor belum 2,7V maka pada pin 1 IC BD425G akan low, FET1 akan ON, dan arus drain  $I_D$  akan diberikan untuk mengisi ultra capacitor.

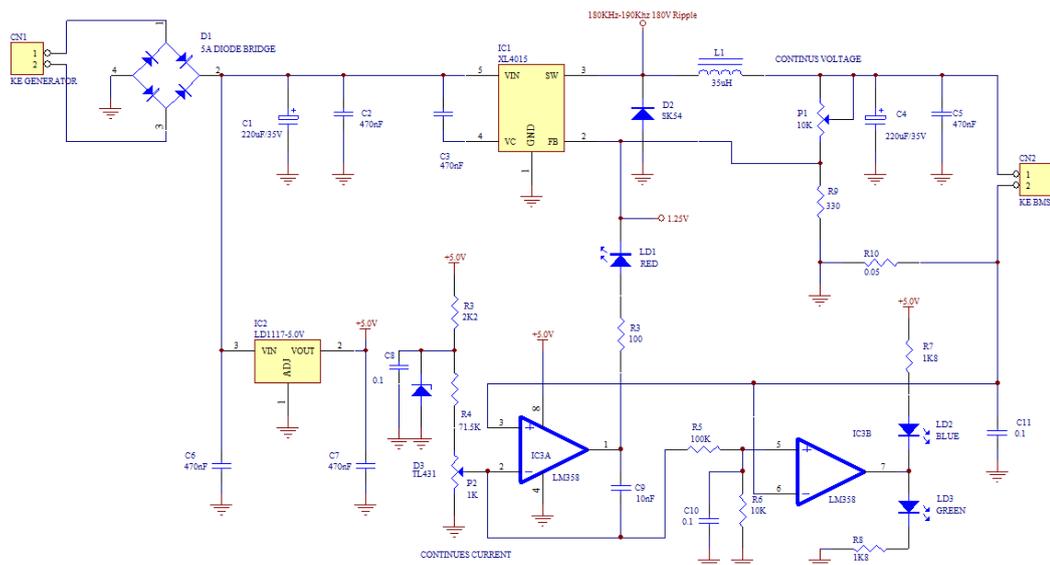
Dengan prinsip ini, keseimbangan sel dari semua sel dipertahankan sebesar 2.7V. Pada Gambar 4.5 diperlihatkan 4 buah ultra capacitor dengan BMS.



**Gambar 4.5** Empat buah ultra capacitor dengan BMS

#### 4.2.3 Buck Converter DC to DC XL4016 (3A).

Pada Gambar 4.6 diperlihatkan Buck converter DC to DC XL4016 (3A) sebagai pengisi ultra capacitor dengan pengaturan CC dan CV.



**Gambar 4.6** Buck converter DC to DC XL4016 (3A) sebagai pengisi ultra capacitor dengan pengaturan CC dan CV.

Tegangan maksimum dari generator adalah sebesar 12 VDC. Kemudian tegangan keluaran di-*adjust* dengan memutar trimpot P1 sebagai pengaturan CV pada tegangan 5.0V (tegangan maksimum ultra capacitor 5.0 V) kemudian arus keluaran dibatasi dengan memutar trimpot P2 pada arus 3.0A dibatasi maksimum 3A. Perlu diterapkan tegangan *charge* sesuai dengan domain waktu CV ke *cut-*

*off* pengisian daya dengan mengurangi arus (CC) saat maksimum tegangan tercapai. Saat ultra kapasitor tidak terhubung dengan beban maka ultra capacitor akan membuang muatan melalui R10, untuk mencegah pembuangan muatan ini maka diperlukan kontrol dari trimpot P2. Kebocoran arus tidak boleh melebihi 40mA (sesuai datasheet).

#### 4.2.4 Perhitungan Daya

Generator DC memiliki ukuran efektif kerja pada tegangan 24V/16A dengan putaran per menit rpm 2750 (datasheet). Daya motor listrik diformulasikan sebagai:

$$P_{\text{generator}} = V \cdot I = 24 \cdot 16 = 384 \text{ Watt}$$

Dimana  $V$  = tegangan kerja motor (Volt) dan  $I$  = arus keluaran generator (Ampere), tahanan dalam motor dapat diformulasikan sebagai:

$$R_{\text{motor}} = V/I = 24V/16A = 1.5 \text{ Ohm.}$$

Dimana  $V$  = tegangan jepit diantara kutub generator (Volt)

$I$  = arus yang keluar dari generator (Ampere)

Tahanan dalam generator adalah tetap. Sehingga daya yang disalurkan generator yang dipasang pada pengatur tegangan (buck converter XL4016) pada keluaran 12V diformulasikan sebagai:

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= V^2 / R_{\text{dynamo}} \\ &= (12)^2 / 1.5 = 96 \text{ Watt.} \end{aligned}$$

Kecepatan putaran generator berbanding lurus dengan besaran tegangan keluaran generator sehingga menjadi:

$$\text{Putaran}_{\text{generator}} = (12/24) \cdot 2750 = 1375 \text{ rpm}$$

Artinya pada putaran maximum 1375 rpm generator menghasilkan tegangan 12V. Tegangan keluaran dari generator adalah fluktuasi, tergantung pada kecepatan putaran sudut angular baling-baling (tergantung kecepatan aliran air).

Agar diupayakan tegangan keluaran dari generator tidak kurang dari (5,4V+1.5V), sehingga putaran minimal generator adalah:

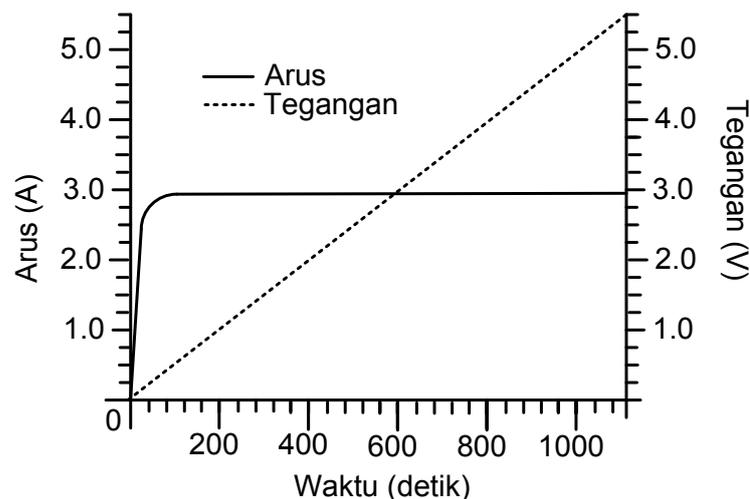
$$\text{Putaran}_{\text{generator}} = (6.9/24) \cdot 2750 = 791 \text{ rpm}$$

Dimana Tegangan 5,4V adalah tegangan total ultra capacitor dan tegangan 1.5V adalah tegangan input buck converter DC-DC XL4015, tegangan masukan harus lebih besar 1.5V dari tegangan keluaran yang distabilkan (5,4V).

Putaran dynamo dibawah 791 rpm, maka sistem akan *shutdown*. Karena voltage regulator tidak ammpu mempertahankan tegangan keluaran efektif ke beban sebesar 5,4V.

Dari hasil pengamatan arus dan tegangan pada pengisian ultra capacitor, memiliki jeda waktu, walaupun buck converter DC-DC XL4016 di-set pada arus 3A, ultra capacitor akan penuh sebesar 5.4V memerlukan waktu 1120 detik.

Pada Gambar 4.7 diperlihatkan korelasi antara arus dan tegangan pada pengisian ultra capacitor.

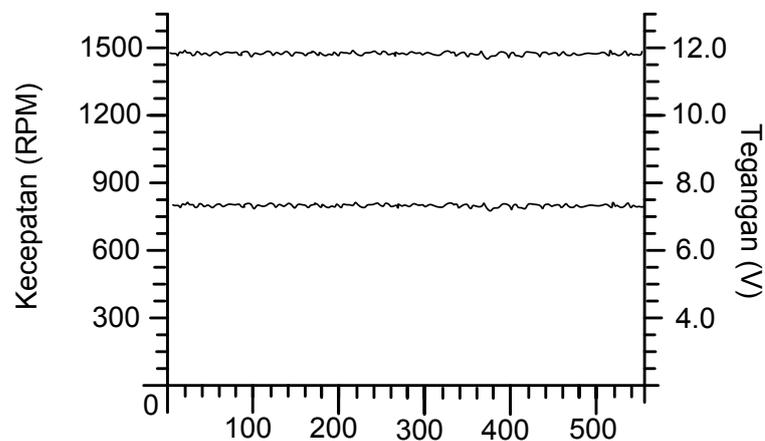


**Gambar 4.7** Korelasi antara arus dan tegangan pada pengisian ultra capacitor

Ultra capacitor mempunyai tahanan dalam yang sangat besar, pada saat benar-benar kosong tidak memiliki muatan listrik. Karakteristik dari ultra capacitor hampir sama dengan baterai litium pada umumnya, namun perbedaannya mencolok pada tegangan awal. Ultra capacitor masih bisa di-charge walaupun benar-benar tegangan awal 0V. Namun baterai litium bila tegangan awal sama dengan 0V, maka dapat dikatakan baterai tersebut dalam keadaan rusak (tidak bisa di-charge).

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa pengisian ultra capacitor dari 0V sampai 5Volt memerlukan waktu 1040 detik  $\pm$  17 menit.

Pada Gambar 4.8 diperlihatkan hasil pengamatan untuk mencari korelasi masukan putaran generator (rpm) terhadap keluaran tegangan generator.



**Gambar 4.8** Korelasi putaran (rpm) terhadap keluaran tegangan generator

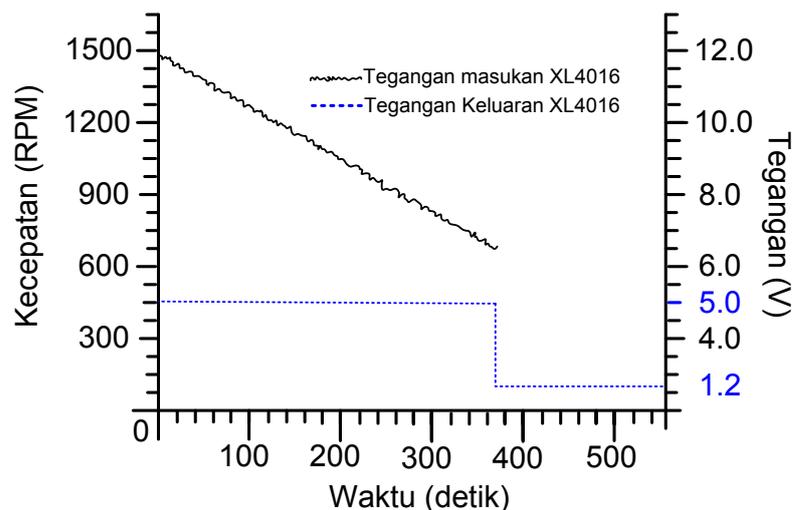
Tegangan keluaran generator masih memiliki ripple tegangan berkisar 40mV-60mV setelah melewati jembatan dioda D1 dan kapasitor C1. Ripple tegangan ini muncul disebabkan karena kapasitor C1 pada rangkaian buck converter DC-DC XL4016 nilai kapasitansinya masih kecil belum bisa menyaring noise (*ripple*) dari frekuensi generator. Namun tegangan *ripple* tersebut masih bisa diterima oleh chip XL4016 tanpa mengganggu kinerja XL4016 digerbang keluaran menuju BMS dan ultra capacitor.

Tegangan keluaran generator akan drop setelah melewati dioda bridge D1 pada gelombang penuh berkisar 1,4V (2 kali tegangan dioda *forward bias*).

Pada Gambar 4.7 keluaran tegangan 12V akan muncul bila generator digerakan pada kecepatan antara 1400-1500 rpm. Keluaran tegangan 6.5V akan muncul bila

generator digerakan pada kecepatan antara 750-800 rpm. Kedua kecepatan tersebut menjadi patokan agar keluaran buck converter XL4016 yang distabilkan masih konstan sebesar 5V. Dibawah 700 rpm dipastikan sistem converter XL4016 akan *shutdown* dan tidak mampu meregulasi tegangan keluaran sebesar 5V.

Pada Gambar 4.9 diperlihatkan hubungan antara kecepatan generator terhadap tegangan output buck converter XL4016. Dari Gambar 4.8 terlihat variasi kecepatan putar generator mengakibatkan variasi tegangan keluaran generator (tegangan masukan XL4016) kecepatan putar dari 1500-700 rpm tegangan keluaran dari buck converter XL4016 masih dipertahankan sebesar 5V, namun setelah kecepatannya dibawah 700 rpm buck converter akan shutdown dengan tegangan keluaran sebesar 1.2V.



**Gambar 4.9** Hubungan antara kecepatan generator (tegangan masukan XL4016) terhadap tegangan keluaran XL4016.

#### 4.3 Coefficient of Performance

Pada saat ultra capacitor bermuatan penuh pada level tegangan total 5V, maka ultra capacitor tersebut mempunyai daya simpan sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{1}{2} \cdot C_{\text{total}} \cdot V_C^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot (5)^2 \\
 &= 1.250 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Pada saat ultra capacitor muatannya turun sehingga level tegangan menjadi 4V (tidak discharge), maka ultra capacitor tersebut mempunyai daya simpan sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_c &= \frac{1}{2} \cdot C_{\text{total}} \cdot V_C^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot (5)^2 \\
 &= 800 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dengan catatan tegangan ultra kapasitor dibawah 4V dipastikan tidak bisa mengisi baterai HP (beban). Dari grafik 4.6 terlihat bahwa waktu untuk mengisi ultra capacitor dari tegangan 4V ke 5V memerlukan waktu berkisar :

$$(1100-800) \text{ detik} \pm 300 \text{ detik} \pm 5 \text{ menit} \pm 0,0833 \text{ jam}$$

Trasfer energi yang diberikan adalah sebesar:

$$W_{uc} = P_{uc} \cdot t = (1100-800) \cdot 0,0833 = 25 \text{ Joule}$$

Kalau handphone (HP) di-charge dari kondisi *low* batteray sampai *full* batteray adalah rata-rata 30 menit (0,5 jam), maka perhitungan daya yang digunakan sebesar:

$$P_{HP} = 3.7 \text{ V} \cdot 2\text{A} = 7,4 \text{ Watt}$$

Dimana 3.7V adalah tegangan baterai HP saat full dengan kapasitas 2 A batteray.

Energi yang diperlukan adalah sebesar:

$$W_{HP} = P_{HP} \cdot t = 7,4 \cdot 0,5 = 3,7 \text{ Joule}$$

Sehingga *coefficient of performance* (COP) system bisa dihitung sebesar :

$$(W_{uc}/W_{HP}) = 25/3,7 = 6,75.$$

COP dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan kapasitansi ultra capacitor dengan tegangan jepit tetap sebesar 5.4 V ( $2,7\text{V} \cdot 2 = 5.4 \text{ V}$ ), maka ultra capacitor tersebut harus dipasang dengan susunan serinya diperbanyak (sesuai dengan Gambar 4.3). Misalkan COP nya ingin dinaikan menjadi 2 kalinya ( $2 \cdot 6,75 = 13,5$ ) maka kapasitor harus dipasang 4 seri paralel dengan 4 seri, begitu seterusnya. COP makin besar efisiensi semakin besar.

#### 4.4 Rancang Bangun Hardware

Hardware dibangun dan diuji cobakan menggunakan komponen elektronik modular yang ada dipasaran online kemudian direkayasa seperti yang diperlihatkan pada Gambar lampiran L1 dan L2.

## BAB 5

### KESIMPULAN

Hasil penelitian “Prototipe Pembangkit Listrik Mobile Nano Hydro” setelah dikarakterisasi sistem memiliki performa sebagai berikut:

- a. Kecepatan putar (rpm) berbanding lurus dengan kecepatan sudu baling-baling. Semakin besar kecepatan sudut generator maka semakin besar tegangan keluaran dari generator tersebut. Setiap perubahan kecepatan masukan 1 rpm mengakibatkan perubahan tegangan keluaran sebesar 7,4 mV.
- b. Pengisian tegangan maksimal disetiap sel ultra capacitor adalah maksimum 2,7V, untuk mencegah kerusakan sel ultra capacitor dan menjaga keseimbangan muatan yang stabil, maka diperlukan rangkaian elektronik *battery management system* (BMS).
- c. Buck converter DC to DC XL4016 (3A) sebagai pengisi ultra capacitor dengan pengaturan *constant current* (CC) dan *constant voltage* (CV), memungkinkan power bank ultra capacitor diisi dengan tegangan dan arus konstan sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada ultra capacitor karena perubahan *peak* kelistrikan.
- d. Karakteristik dari ultra capacitor hampir sama dengan baterai litium pada umumnya, namun perbedaannya mencolok pada tegangan awal. Ultra capacitor masih bisa di-charge walaupun benar-benar tegangan awal 0V. Namun baterai litium bila tegangan awal sama dengan 0V, maka dapat dikatakan baterai tersebut dalam keadaan rusak (tidak bisa di-charge).
- e. Dari hasil percobaan terlihat bahwa pengisian ultra capacitor dari 0V sampai 5V memerlukan waktu  $\pm 17$  menit menggunakan buck converter XL4016 pada tegangan masukan 12V.
- f. Tegangan 12V akan muncul bila generator digerakan pada kecepatan antara 1400-1500 rpm. Keluaran tegangan 6.5V akan muncul bila generator digerakan pada kecepatan antara 750-800 rpm. Kedua kecepatan tersebut menjadi patokan agar keluaran buck converter XL4016 yang distabilkan masih konstan sebesar 5V. Dibawah 700 rpm dipastikan sistem converter

XL4016 akan shutdown dan tidak mampu meregulasi tegangan keluaran sebesar 5V.

- g. Untuk melihat efisiensi sistem adalah dengan cara menghitung *Coefficient of performance* (COP) dari sistem. Sistem charging yang baik adalah bila memiliki COP lebih besar dari 1. Pada penelitian ini sistem memiliki COP sebesar 6,75.

Pembangkit listrik mobile nano hydro, pada penelitian ini perlu dilakukan lebih lanjut terutama pada penggunaan generator yang memiliki rpm kecil dibawah 700. Keluaran tegangan generator tentunya akan kecil, namun bisa dinaikan dulu beberapa volt sebelum masuk ke DC-DC buck converter XL4016 menggunakan inverter. COP kemungkinan akan ikut turun pada generator yang memiliki rpm kecil ini, namun tidak menutup kemungkinan penambahan ultra capacitor sebagai power bank, mampu meningkatkan besaran COP.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] CNN indonesia. Korban banjir tahun baru 2020.  
<https://www.cnnindonesia.com/nasional/20200105121611-20-462523/total-korban-meninggal-akibat-banjir-jadi-60-orang-2-hilang>. [diakses 30 Jan 2020].
- [2] Jones victor tuapetel. 2018. Perancangan kincir terapung pada sungai untuk pembangkit listrik. Seminar Nasional Pakar ke 1 Tahun 2018. ISSN (P) : 2615 – 2584.
- [3] Mariawan, N., 2017, Pengaruh Variasi Sudut Sudu Lurus terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro, Tugas Akhir, Teknik Mesin Universitas Udayana.
- [4] Suryawan, A. A. A., Suarda, M., Suweden, M., 2016, Desain Kincir Air Sudu Lengkung Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro, Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Udayana.
- [5] Hart, Daniel w. 2010. Power Electonics. McGraw-Hill: NewYork.
- [6] A. Asnil and I. Husnaini, “Analisis riak keluaran buck converter,” Seminar Nasional, FORTEI 2015, no. 561, pp. 58–62, 2015.
- [7] Asnil. (2015). Kendali Tegangan Keluaran Buck Converter Menggunakan Kontroler LQR/LTR. Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional, Vol. 1, No. 1, April 2015.
- [8] Miller, J. R. (2010). Introduction to electrochemical capacitor technology. Electrical Insulation Magazine, IEEE, 26(4), 40-47. doi:10.1109/MEI.2010.5511188
- [9] <https://www.youtube.com/EV-Tech%20Explained> (Writer). (2016). How Supercapacitors Work -A step by step guide. In.
- [10] Akinyele, D. O., & Rayudu, R. K. (2014). Review of energy storage technologies for sustainable power networks. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 8, 74-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.004>
- [11] Zhang, W., Ma, C., Fang, J., Cheng, J., Zhang, X., Dong, S., & Zhang, L. (2013). Asymmetric electrochemical capacitors with high energy and power density based on graphene/CoAl-LDH and activated carbon electrodes. RSC Advances, 3(7), 2483-2490. doi:10.1039/C2RA23283A

## Surat Pernyataan Pendayagunaan Sarana dan Prasarana Penelitian

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anwar Mujadin, S.T., M.T.  
NIDN/NIDK/NIP : 0325126707 / 12.01.3.1.0213  
Fakultas/ Prodi/ Unit Kerja : FST/ Teknik Elektro

telah dilaksanakan dan pendayagunaan sarana serta prasarana penelitian memperhatikan aspek standar mutu penelitian.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya sebagai bentuk pertanggungjawaban.

Mengetahui,  
Dekan FST UAI

Jakarta, 20 November 2020  
Ketua Pelaksana

( **Ir.Hidayat Yorianta Sasaerila, MSc., Ph.D**)

(Anwar Mujadin, S.T., M.T.)

Mengetahui  
Wakil Rektor II

Ir. Ade Suryanti, MM



## **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

**Surat Pernyataan**  
**Standar Mutu Keselamatan Kerja, Kesehatan, Kenyamanan,**  
**Serta Keamanan Pelaksana, Masyarakat, Dan Lingkungan**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anwar Mujadin, S.T., M.T.  
NIDN/NIDK/NIP : 0325126707 / 12.01.3.1.0213  
Fakultas/ Prodi/ Unit Kerja : FST/ Teknik Elektro

menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

**PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK MOBILE NANO HYDRO**

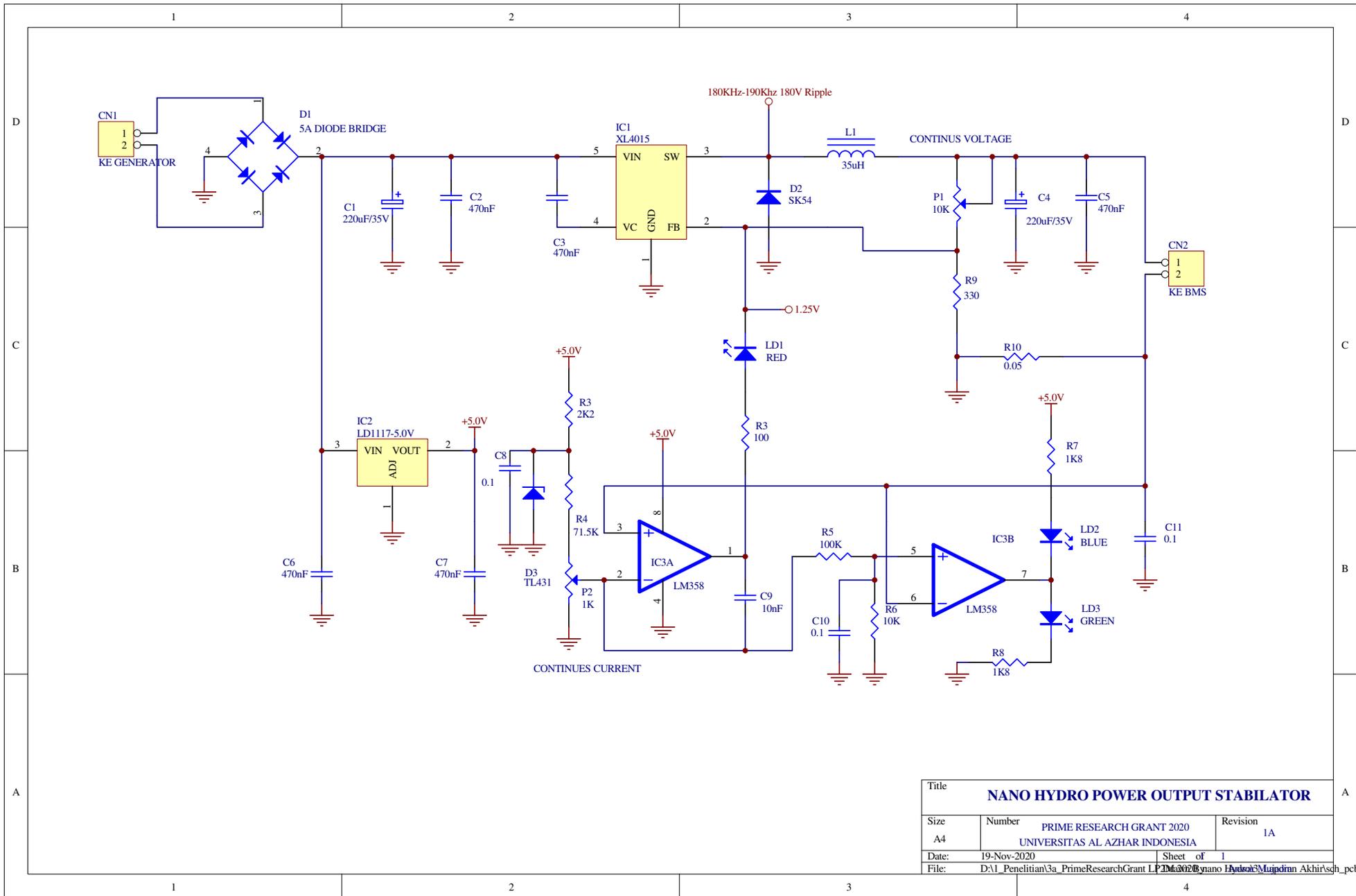
telah mempertimbangkan standar mutu Keselamatan Kerja, Kesehatan, Kenyamanan, serta Keamanan Pelaksana, Masyarakat, dan Lingkungan.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya untuk keperluan kelengkapan laporan akhir dalam skema *prime research grant* 2020.

Mengetahui,  
Dekan FST UAI

Jakarta, 20 November 2020  
Ketua Pelaksana

( **Ir.Hidayat Yorianta Sasaerila, MSc., Ph.D**) (Anwar Mujadin, S.T., M.T.)



Title			
<b>NANO HYDRO POWER OUTPUT STABILATOR</b>			
Size	Number	PRIME RESEARCH GRANT 2020	Revision
A4		UNIVERSITAS AL AZHAR INDONESIA	1A
Date:	19-Nov-2020	Sheet of	1
File:	D:\1_Penelitian\3a_PrimeResearchGrant LP 2020\Bnyano Hydro\SMupdran Akhir\Asch\Baterai Charger.L		