



TUGAS AKHIR – TF 181801

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM KONVERSI
DAYA PADA *VERTICAL AXIS HYDROKINETIC
TURBINE STRAIGHT BLADE CASCADED*
(VAHT-SBC)**

FERNANDO PARSAULIAN PANJAITAN
NRP. 0231154000061

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Rifdian Indrianto Sudjoko, S.T., M.M., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



FINAL PROJECT – TF 181801

**EXPERIMENTAL STUDY OF POWER
CONVERSION SYSTEMS IN *VERTICAL AXIS
HYDROKINETIC TURBINE - STRAIGHT
BLADE CASCADED (VAHT-SBC)***

FERNANDO PARSAULIAN PANJAITAN
NRP. 0231154000061

Supervisors
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Rifdian Indrianto Sudjoko, S.T., M.M., M.T.

DEPARTEMEN OF ENGINEERING PYSHICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Fernando Parsaulian Panjaitan
NRP : 02311540000061
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimental Sistem Konversi Daya Pada *Vertical Axis Hidrokinetik Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juli 2019
Yang membuat pernyataan,

Fernando P Panjaitan
NRP. 02311540000061

Halaman ini sengaja dikosongkan

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM KONVERSI DAYA
PADA VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE
STRAIGHT BLADE CASCADED (VAHT-SBC)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

FERNANDO PARSAULIAN PANJAITAN

NRP. 0231154000061

**Surabaya, 24 Juli 2019
Mengetahui/Menyetujui**

Pembimbing I,



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

Pembimbing II,



Rifdian Indrianto S, ST., MM., MT.
NIP. 19810629 200912 1 002

**Kepala Departemen,
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM KONVERSI DAYA
PADA VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE
STRAIGHT BLADE CASCADED (VAHT-SBC)**

TUGAS AKHIR





Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FERNANDO PARSAULIAN PANJAITAN

Nrp. 0231154000061

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Rifdian Indrianto Sudjoko, S.T., M.M., M.T.  (Pembimbing II)
3. Ir. Sarwono, M.M.  (Ketua Penguji)
4. Dr. Suyanto, S.T., M.T.  (Penguji I)

**SURABAYA
JULI, 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**STUDI EKSPERIMENTAL SISTEM KONVERSI DAYA
PADA *VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE
STRAIGHT BLADE CASCADED* (VAHT-SBC)**

Nama Mahasiswa : Fernando Parsaulian Panjaitan
NRP : 02311540000061
Departemen : Teknik Fisika FTI - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Rifdian Indrianto S, S.T., M.M., M.T.

Abstrak

Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) merupakan energi hidrokinetik yang potensial untuk dimanfaatkan. Pada penelitian ini telah dilakukan eksperimen potensi turbin dan sistem konversi hidrokinetik untuk mendapatkan sistem integrasi turbin dan generator serta konversi daya. Variasi kecepatan yang digunakan untuk menguji turbin dan sistem integrasi adalah 0.74 m/s, 0.82 m/s, dan 0.92 m/s. Didapatkan hasil performansi terbesar turbin berada pada kecepatan 0.92 m/s dengan daya turbin 174.058 watt. Sedangkan nilai efisiensi turbin pada setiap lokasi berturut 37.9, 30, 22.25. Pada sistem konversi daya eksperimen yang dilakukan adalah perubahan rpm yang diberikan serta variasi pembebanan. Hasil eksperimen menunjukkan semakin tinggi rpm maka generator dan rectifier tiga fasa akan mengalami kenaikan tegangan serta frekuensi. variasi nilai rpm pada generator adalah 493, 395, 341, 316, dan 227. Pemberian beban akan menurunkan kinerja generator yang mengakibatkan turunnya tegangan. Tegangan yang turun terjadi pada semua komponen sistem konversi daya. Inverter sendiri telah mencapai acuan yang telah ditentukan karena berada pada kisaran 230Vac. Dari hasil tersebut pengujian sistem integrasi dilakukan dengan turbin, generator dan konversi daya dengan menggunakan transmisi mekanik. Pada sistem integrasi didapatkan nilai yang linear terhadap eksperimen sistem konversi

daya baik segi tegangan maupun frekuensi. Hasil eksperimen menunjukkan daya listrik terbesar yang mampu dihasilkan oleh VAHT-SBC sebesar 50 watt dengan kecepatan inlet 0.82 m/s dan 0.92 m/s.

Kata Kunci: Pembebanan, RPM, Sistem Integrasi, VAHT-SBC

**EXPERIMENTAL STUDY OF POWER CONVERSION
SYSTEMS IN VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE
STRAIGHT BLADE CASCADED (VAHT-SBC)**

Student's Name : Fernando Parsaulian Panjaitan
NRP : 0231154000061
Departement : Engineering Physics FTI - ITS
Supervisors : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Rifdian Indrianto S, S.T., M.M., M.T.

Abstract

Vertical Cascaded Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade (VAHT-SBC) is a potential hydrokinetic energy to be utilized. In this study, turbine potential experiments and hydrokinetic conversion systems have been carried out to obtain a turbine and generator integration system and power conversion. Speed variations used to test turbines and system integration are 0.74 m/s, 0.82 m/s, and 0.92 m/s. The highest performance results of the turbine are obtained at a speed of 0.92 m/s with a turbine power of 174,058 watts. While the value of turbine efficiency in each location successively 37.9, 30, 22.25. In the experimental power conversion system carried out is the change in rpm given and variations in loading. The experimental results show that the higher the rpm, the three-phase generators and rectifiers will increase voltage and frequency. variations in the value of rpm on generators are 493, 395, 341, 316, and 227. Giving the load will reduce the performance of the generator which results in a decrease in voltage. The drop voltage occurs in all components of the power conversion system. The inverter itself has reached a predetermined reference because it is in the 230Vac range. From these results, integration system testing is carried out with turbines, generators and power conversions using mechanical transmission. The integration system gets a linear value for power conversion system experiments both in terms of voltage and frequency. The experimental results show that the largest electrical

power capable of being produced by VAHT-SBC is 50 watts with inlet speeds of 0.82 m/s and 0.92 m/s.

Keywords: Integration System, Load, RPM, VAHT-SBC.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan kekuatan lahir maupun batin kepada saya selaku penulis, serta melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita, khususnya kepada penulis karena atas izin dan karunia-Nya lah penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam melaksanakan tugas akhir serta menyelesaikan laporan dengan judul “**Studi Eksperimental Sistem Konversi Daya Pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)**” yang dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan ini penulis banyak dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang terlibat secara langsung maupun secara tidak langsung, khususnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- a. Agus Muhammad Hatta, ST., M.Si., Ph.D. sebagai ketua Departemen Teknik Fisika FTI ITS
- b. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. dan Rifdian Indrianto Sudjoko, S.T., M.M., M.T. sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- c. Erna Septyaningrum S.T., M.T selaku dosen pembimbing tambahan yang memberikan ide, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam pelaksanaan tugas akhir.
- d. Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika FTI ITS yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan simulasi.
- e. Nelson Panjaitan dan Rosmian Lumbanraja selaku kedua orang tua saya yang selalu mendoakan serta mensupport saya baik dari material maupun nonmaterial serta kedua sodara saya
- f. Rizal, Riky, Iqbal, dan Cesa selaku teman berdiskusi, membantu melakukan eksperimen, dan rekan dibidang

hidrokinetik yang berbagi ilmu dan pengalaman selama tugas akhir.

- g. Samsul, Ando, Thareq, Gikano, Gagas, Ifaldi, dan teman teman F50 yang membantu saya dalam melakukan pengambilan data eksperimen.
- h. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan maupun penyajian laporan ini baik dari segi materi yang disampaikan maupun teknis penulisan, mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar pada masa yang akan datang penulis dapat menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan membawa ilmu pengetahuan umumnya bagi semua pembaca dan khususnya bagi penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR SIMBOL	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Energi Hidrokinetik	7
2.2 Turbin Hidrokinetik	9
2.3 <i>Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)</i>	10
2.4 Sistem Konversi Energi Hidrokinetik	11
2.5 <i>Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)</i>	13
2.6 <i>Rectifier Three Phase</i>	14
2.7 Regulator Tegangan <i>Buck Converter</i>	15
2.8 Inverter	16
BAB III METODELOGI PENELITIAN	19
3.1 Studi Eksperimen	19
3.2 Diagram Alir Penelitian	20
3.3 Lokasi Eksperimen	24
3.4 Diagram Blok Sistem Integrasi	24
3.5 Desain Sistem Integrasi	25
3.6 Prosedur Percobaan	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Kinerja <i>Vertical Axis Horizontal Turbine Straight Blade Cascaded</i> (VAHT-SBC).....	37
4.2 Pengaruh Perubahan RPM Terhadap Karakteristik Generator dan Rangkaian Konverter Daya.....	41
4.3 Kinerja Sistem Integrasi Turbin-Generator	51
4.4 Diskusi.....	65
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Outline</i> sistem konversi energi hidrokinetik dengan menggunakan turbin	8
Gambar 2.2 Klasifikasi model hidrokinetik turbin	9
Gambar 2.3 Model turbin VAHT-SBC	11
Gambar 2.4 Sistem konversi energi hidrokinetik	12
Gambar 2.5 <i>Rectifier three phase full wave</i>	15
Gambar 2.6 Rangkaian <i>buck converter</i>	16
Gambar 2.9 Topologi <i>single phase full bridge</i> VSI	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian bagian 1.	21
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian bagian 2.	22
Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Integrasi	25
Gambar 3.4 Geometri <i>airfoil</i> turbin.....	26
Gambar 3.5 VAHT-SBC yang digunakan tampak samping.	27
Gambar 3.6 Sistem transmisi <i>belt and pulley</i> dengan rasio 1:528	
Gambar 3.7 PMSG <i>three phase</i>	29
Gambar 3.8 <i>Rectifier three phase</i>	29
Gambar 3.9 <i>Buck converter</i> 200 watt.	30
Gambar 3.10 <i>Sine wave modified inverter</i>	30
Gambar 3.11 <i>Current meter</i> yang digunakan.....	31
Gambar 3.12 <i>Torque wrench</i> digunakan mengukur torsi turbin ..	31
Gambar 3.13 <i>Tachometer</i> digunakan mengukur kec. putar	32
Gambar 3.14 <i>Multimeter</i> yang digunakan	33
Gambar 4.1 Nilai kecepatan inlet pada setiap lokasi.	37
Gambar 4.2 Profil torsi pada pergeseran <i>azimuth</i>	38
Gambar 4.3 Daya turbin eksperimen sebelumnya dan sekarang	40
Gambar 4.4 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 227.	43
Gambar 4.5 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 316.	43
Gambar 4.6 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 341.	44
Gambar 4.7 Pengaruh output generator terhadap pembebanan pada rpm 395.	44

Gambar 4.8 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 493.....	45
Gambar 4.9 Pengaruh pembebanan terhadap output rectifier tiga fasa pada semua rpm.....	46
Gambar 4.10 Pengaruh pembebanan terhadap output inverter.....	47
Gambar 4.11 Pengaruh pembebanan terhadap output frekuensi generator pada semua rpm.....	49
Gambar 4.12 Kinerja rpm generator terhadap pembebanan.....	51
Gambar 4.13 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.....	52
Gambar 4.14 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.....	52
Gambar 4.15 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.....	53
Gambar 4.16 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.....	53
Gambar 4.17 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.....	54
Gambar 4.18 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.....	54
Gambar 4.19 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.....	56
Gambar 4.20 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.....	56
Gambar 4.21 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.....	57
Gambar 4.22 Nilai tegangan output rectifier tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.....	58
Gambar 4.23 Nilai tegangan output rectifier tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.....	59
Gambar 4.24 Nilai tegangan output rectifier tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.....	59
Gambar 4.25 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.....	61
Gambar 4.26 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.....	61

Gambar 4.27 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.	62
Gambar 4.28 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:5.	63
Gambar 4.29 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:4.	63
Gambar 4.30 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio <i>pulley</i> 1:3.	64

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Status <i>switch</i> pada <i>full bridge single phase</i> VSI [19]	17
Tabel 3.1	Parameter eksperimen	19
Tabel 3.2	Hasil pengukuran profil kanal.	24
Tabel 3.3	Ukuran geometri turbin.	26
Tabel 3.4	Spesifikasi PSMG <i>three phase</i> yang digunakan.	29
Tabel 4.1	Hasil pengukuran rata-rata torsi dan rpm turbin.	38
Tabel 4.2	Efisiensi daya turbin VAHT-SBC.	39
Tabel 4.3	Hasil eksperimen sekarang dan sebelumnya.	41
Tabel 4.4	Hasil pengukuran tegangan tanpa beban.	42
Tabel 4.5	Hasil pengukuran frekuensi generator tanpa beban ...	48
Tabel 4.6	Kemampuan operasi terbesar pada sistem integrasi ..	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

P	Dynamic Pressure (N/m)
τ	Shear stress (N/m)
ω	Kecepatan putaran turbin (rad/s)
θ	Sudut azimuth ($^{\circ}$)
η	Efisiensi Turbin (%)
C_P	Koefisien Daya
P_{Air}	Daya Air (watt)
P_{Tur}	Daya Turbin (watt)
s	Span foil (cm)
c	Chord fil (cm)
A	Luas Sapuan Turbin (m^2)
v	Kecepatan Inlet Aliran (m/s)
ρ	Density Fluida (kg/m^3)
τ_T	Torsi Turbin (N/m)
τ_G	Torsi Generator (N/m)
Vdc	Tegangan Direct Current (vdc)
Vac	Tegangan Alternating Current (vac)
f	Frekuensi (Hz)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan listrik di Indonesia akan terus bertambah seiring bertambahnya jumlah penduduk dan tingkat penggunaan teknologi. Indonesia yang berada pada daerah maritim memiliki potensi yang sangat besar pada bidang energi hidrokinetik. Energi hidrokinetik telah menjadi salah satu energi terbarukan yang memanfaatkan arus air sebagai penggerakannya. Energi hidrokinetik merupakan energi yang potensial untuk dimanfaatkan, dengan potensi mencapai 45.379 MW [1]. Salah satu contoh aplikasi energi hidrokinetik adalah menggunakan turbin hidrokinetik [2]. Pada dasarnya turbin hidrokinetik merupakan adaptasi dari turbin angin lepas pantai dimana teknologi yang digunakan pada turbin hidrokinetik mirip dengan turbin angin [3]. Turbin hidrokinetik memiliki keunggulan dalam tenaga penggerakannya, turbin ini dapat digerakkan pada arus yang rendah, sehingga dapat diaplikasikan pada kanal terbuka serta arus laut. Salah satu contoh turbin hidrokinetik adalah *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC). *Prototype* turbin yang dikembangkan pada penelitian sebelumnya merupakan modifikasi dari turbin hidrokinetik konvensional yang disebut sebagai VAHT-SBC [4].

Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin ini dapat dimanfaatkan melalui konversi dari energi mekanik menjadi energi listrik yang harus menggunakan teknologi yang sesuai. Salah satu teknologi yang digunakan yaitu penggunaan konverter daya dalam sistem konversinya. Sistem konversi ini didapat melalui sistem integrasi pada VAHT-SBC dengan generator. Daya yang dihasilkan oleh generator dapat menggunakan sistem konverter daya agar mampu menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sesuai standar. Konverter daya merupakan teknologi yang mampu mengkonversi daya listrik dan melaksanakan peran yang penting dalam sistem konversi energi hidrokinetik. Sistem konverter daya turbin hidrokinetik juga memiliki konsep yang sama seperti turbin

angin. Pada turbin angin konverter daya digunakan untuk menyesuaikan karakteristik turbin angin dengan kebutuhan dari jaringan (*grid*). Elemen yang harus disesuaikan dengan *grid* antara lain frekuensi, tegangan, kontrol daya aktif dan reaktif, dan harmonik [5]. Sistem integrasi pada turbin hidrokinetik dapat menggunakan beberapa tipe generator yang juga digunakan pada generator energi terbarukan, salah satunya adalah *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) [6][7]. PMSG banyak digunakan pada energi terbarukan seperti turbin angin karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan dapat menggunakan *blade* pada turbin yang relatif kecil [8].

Variasi kecepatan putar generator akan mengakibatkan fluktuasi pada tegangan output dan frekuensi output generator. Fluktuasi tegangan ac tersebut akan disearahkan menggunakan *rectifier* dengan tegangan output dc akan diatur konstan melalui *dc-dc converter* dengan mengatur *duty ratio* pada konverter. Untuk menyesuaikan tegangan output dengan *grid*, tegangan output dc tersebut akan diubah menjadi tegangan ac kembali melalui inverter yang pengaturannya menggunakan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) [9].

Perkembangan VAHT-SBC pada penelitian sebelumnya telah didapatkan hasil simulasi numerik dengan koefisien kinerja mencapai 0.42 dan data hasil eksperimen berupa *prototype* menunjukkan bahwa turbin dengan mekanisme *passive pitch* pada *angle of attack* $-20 < \alpha < 20$ dapat memiliki *self-starting* yang cukup baik [4][10]. Belum adanya sistem integrasi membuat penulis ingin mengembangkan penelitian ini sehingga pada penelitian ini penulis ingin merancang sistem integrasi turbin hidrokinetik dengan generator. Pemasangan generator juga akan didukung dengan sistem konverter daya. Komponen pada konverter daya merupakan bagian terpenting dari pembangkitan energi hidrokinetik dengan kecepatan variabel untuk mendapatkan efisiensi dan kinerja yang tinggi dalam sistem tenaga listrik. Pengujian karakteristik generator dan sistem konverter daya dilakukan dengan menggunakan motor sebagai pengganti turbin untuk menggerakkan generator. Pengujian ini bertujuan agar mendapatkan variasi

tegangan, rpm, frekuensi yang dihasilkan. Hasil dari pengujian nantinya akan menjadi referensi dalam pemasangan sistem integrasi (turbin, generator dan konverter daya) dengan menggunakan turbin VAHT-SBC yang telah didapatkan performansinya. Analisa dilakukan dengan cara studi eksperimental, perbandingan nilai tegangan serta frekuensi terhadap perubahan rpm, serta penerapan uji pembebanan sistem integrasi (turbin, generator, dan konverter daya) pada turbin VAHT-SBC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mendesain sistem transmisi mekanik pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC) dengan *permanent synchronous magnet generator*?
- b. Bagaimana pengaruh perubahan rpm dan pembebanan terhadap frekuensi dan tegangan yang dihasilkan oleh generator serta sistem konverter daya?
- c. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap kinerja *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC) pada sistem integrasi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Turbin yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC).
- b. *Airfoil* yang digunakan adalah NACA 0018.
- c. Jumlah *blade* yang digunakan adalah 9 buah dengan *aspect ratio* 8.
- d. Generator tipe *permanent magnet generator* dengan keluaran maksimum 600 watt.
- e. Regulator tegangan merupakan regulator *step down* dengan kapasitas 60Vdc dan 200 watt.

- f. Inverter yang digunakan merupakan inverter dengan kapasitas 500 watt.
- g. Pembebanan dilakukan menggunakan lampu pijar dengan berbagai variasi pembebanan.
- h. Aliran yang digunakan untuk proses pengambilan data adalah arus sungai atau kanal terbuka.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas maka tujuan dilaksanakannya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan desain sistem transmisi mekanik pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)* dengan *permanent synchronous magnet generator*.
- b. Menganalisa pengaruh perubahan rpm dan pembebanan terhadap frekuensi dan tegangan yang dihasilkan oleh generator serta rangkaian konverter daya.
- c. Menganalisa pengaruh pembebanan terhadap kinerja *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)* pada sistem integrasi.

1.5 Sistematika Laporan

Pada laporan tugas akhir ini tersusun dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai latar belakang dilakukannya tugas akhir, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini penjelasan mengenai teori-teori penunjang yang digunakan sebagai referensi pada tugas akhir ini.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi penjelasan mengenai diagram alir pengerjaan tugas akhir mulai dari studi literature, komponen yang akan

digunakan pada penelitian ini, prosedur percobaan hingga mendapatkan kesimpulan dari data eksperimen yang diperoleh.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi penyajian data hasil eksperimen berupa dokumentasi foto, grafik, tabel, dan analisis perhitungan. Dari data hasil eksperimen tersebut kemudian dijadikan pembahasan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari tugas akhir yang telah dilakukan. Kesimpulan ini menjawab tujuan dari tugas akhir serta dengan poin poin penting yang dapat dikembangkan sebagai penelitian lebih lanjut akan dicantukan dalam saran sebagai acuan penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

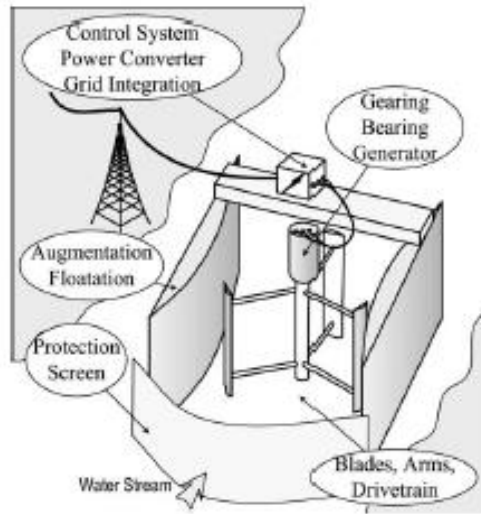
LANDASAN TEORI

2.1 Energi Hidrokinetik

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan bertambahnya jumlah kebutuhan energi. Pemanfaatan energi saat ini sebagian besar berasal dari fosil yang jumlahnya terus mengalami penurunan serta menyebabkan efek pada lingkungan. Hal ini memberikan perhatian khusus untuk menciptakan teknologi yang ramah lingkungan. Pemanfaatan energi terbarukan dapat diterapkan untuk menciptakan teknologi yang ramah lingkungan, salah satu contohnya energi hidrokinetik. Indonesia yang sebagian besar berada pada daerah maritim memiliki potensi yang sangat besar pada bidang energi hidrokinetik. Energi hidrokinetik tercipta dari selat, yaitu perairan yang diapit oleh dua daratan. Sesuai hukum kontinuitas bila luas penampang yang dilewati lebih kecil maka aliran air akan lebih besar. Air yang melewati perairan bebas kecepatan alirannya akan lebih kecil dibanding air yang melewati daerah selat. Keuntungan geografis ini menjadikan wilayah Indonesia dengan potensi energi arus laut tinggi. Potensi energi hidrokinetik yang dimiliki oleh Indonesia dapat mencapai 45.379 MW [1].

Konversi energi hidrokinetik menjadi energi listrik sangat bergantung pada kecepatan air, massa jenis dan luas penampang. Terdapat dua cara yang digunakan untuk mengekstrak energi hidrokinetik, yaitu dengan menggunakan sistem turbin dan tanpa menggunakan sistem turbin. *Flutter vane*, *piezoelectric*, *vortex induced vibration*, *oscillating hydrofoil* dan *sails* merupakan beberapa contoh cara konversi energi hidrokinetik tanpa menggunakan sistem turbin. Sedangkan contoh konversi dengan menggunakan turbin adalah dengan menggunakan turbin sumbu vertikal, turbin sumbu horizontal, *cross-flow turbin*, *venture* dan *gravitational vortex* [11]. Gambar 2.1 menunjukkan sistem konversi energi hidrokinetik menjadi listrik dengan menggunakan turbin hidrokinetik. Turbin yang berputar akibat gaya hidrokinetik menyalurkan energi menuju generator untuk merubah energi

mekanik menjadi energi listrik yang disalurkan melalui *power converter* atau *grid integration* pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Outline sistem konversi energi hidrokinetik dengan menggunakan turbin [11]

Nilai daya air yang dihasilkan oleh energi hidrokinetik didapat melalui substitusi persamaan energi kinetik dan persamaan massa jenis yang dijabarkan dalam persamaan sebagai berikut [12]:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.1)$$

$$E_k = \frac{1}{2}(\rho V)v^2 \quad (1.2)$$

$$E_k = \frac{1}{2}\rho A S v^2 \quad (1.3)$$

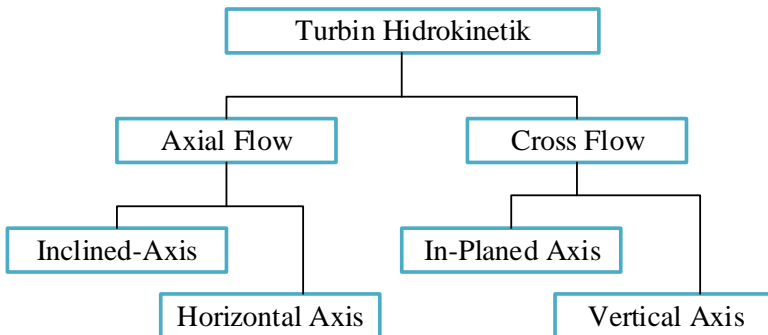
$$\frac{E_k}{t} = \frac{1}{2}\rho A \frac{S}{t} v^2 \quad (1.4)$$

$$P_{air} = \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (1.5)$$

Daya air yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan aliran (v), luas penampang (A), dan massa jenis (ρ) aliran dimana untuk air tawar 1000 g/cm^3 dan air laut 1030 g/cm^3 .

2.2 Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik merupakan teknologi pembangkit listrik yang memanfaatkan energi hidrokinetik dari aliran air untuk menggerakkan turbin tersebut [13]. Turbin hidrokinetik digunakan untuk mengekstrak energi dari arus laut dan sungai. Turbin hidrokinetik merupakan adaptasi dari turbin angin dimana keduanya sama-sama menggunakan energi kinetik sebuah aliran. Perbedaan antara kedua jenis turbin tersebut yang mendasar adalah jenis fluida yang bekerja pada turbin tersebut. Terdapat dua jenis turbin menurut klasifikasinya [11], yaitu *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* (VAHT), *Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine* (HAHT) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Keuntungan dari penggunaan turbin hidrokinetik adalah turbin ini dapat digunakan pada arus dengan kecepatan rendah.



Gambar 2.2 Klasifikasi model hidrokinetik turbin [11]

Kemampuan turbin untuk mendapatkan suatu performansi daya mekanik turbin juga bergantung pada torsi dan rpm yang dihasilkan oleh turbin. Persamaan untuk mendapatkan daya mekanik turbin dijabarkan pada persamaan dibawah ini.

$$P_{tur} = \tau \cdot \omega \quad (1.6)$$

Kecepatan sudut dapat diperoleh dari nilai RPM dengan persamaan 1.7

$$\omega = \frac{2\pi \text{RPM}}{60} \quad (1.7)$$

Nilai efisiensi dari turbin hidrokinetik kita dapat membandingkannya dengan daya mekanik turbin dengan daya air. Sehingga nilai dari koefisien daya (C_p) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (1.8)$$

Nilai presentase efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan.

$$\eta = C_p \cdot 100\% \quad (1.9)$$

2.3 Vertical Axis Hydrokinetic Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)

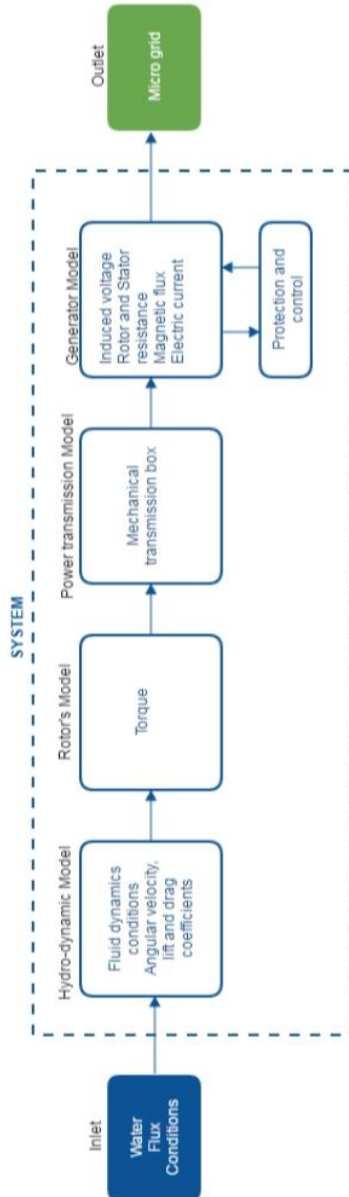
Vertical Axis Hydrokinetic Turbine merupakan turbin yang banyak dikembangkan, salah satu contohnya turbin jenis *Darrieus*. Turbin jenis ini dikenalkan oleh seorang ilmuwan asal Prancis bernama George Jean Marie Darrieus yang juga pertama dipatenkan pada tahun 1931. Turbin Darrieus yang disebut *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Darrieus Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC). VAHT-SBC terdiri dari tiga lengan, dengan tiga *blade* di masing-masing lengan. Turbin ini memiliki mekanisme *passive pitch* pada bilah terluarnya, yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan *self-starting* dan membuktikan kemampuan yang lebih baik untuk mulai berputar pada TSR menengah 2.3-2.4 [10]. Mekanisme ini memberikan kebebasan *blade* untuk menyesuaikan *pitch* di kisaran $-20^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$, di mana β adalah sudut *pitch*. NACA 0018 dipilih sebagai hidrofoilnya, karena jenis hidrofoil ini memberikan kinerja terbaik untuk aplikasi turbin sumbu vertikal. Nilai C_p yang telah dihasilkan oleh VAHT-SBC mencapai 0.42 [4]. Pada Gambar 2.3 merupakan desain VAHT-SBC yang telah dibuat oleh peneliti sebelumnya dengan dimensi turbin 40 x 40 cm. Pada gambar turbin tampak samping ini mengguguk tiga *arm* dengan masing-masing *arm* memiliki tiga buah *blade*.



Gambar 2.3 Model turbin VAHT-SBC [4]

2.4 Sistem Konversi Energi Hidrokinetik

Sistem konversi energi hidrokinetik berfungsi mengubah energi kinetik air menjadi energi listrik. Turbin hidrokinetik menjadi sumber utama untuk menggerakkan generator. Gaya hidrodinamik dipindahkan ke rotor turbin dan memberikan torsi torsional ke generator yang memiliki arah rotasi yang sama. Hanya torsi dari turbin yang tidak dapat menghasilkan energi mekanik yang dibutuhkan oleh generator. Oleh karena itu, terkadang diperlukan sistem transmisi agar dapat meningkatkan jumlah putaran dan mempertahankan torsi [14]. Generator mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik, yang dimasukkan ke dalam jaringan melalui konverter elektronik daya [5]. Sistem konversi energi hidrokinetik pada umumnya sama dengan sistem konversi pada energi terbarukan seperti turbin angin. Dalam sistem tersebut terdiri dari, turbin hidrokinetik, transmisi mekanik, generator, konverter, dan sistem kontrol. Gambar 2.4 merupakan diagram blok proses dari sistem konversi hidrokinetik. Input awal merupakan daya air yang kemudian diekstrak oleh turbin dengan menghasilkan rpm dan torsi. Nilai itu kemudian digunakan sebagai penyalur energi ke generator dengan menggunakan transmisi mekanik, kemudian generator dan sistem konversi daya akan menghasilkan energi listrik untuk disalurkan.



Gambar 2.4 Sistem konversi energi hidrokinetik [14].

Faktor alam yang tak menentu membuat kita juga mempertimbangkan penempatan turbin hidrokinetik. Turbin hidrokinetik sangat bergantung pada kecepatan aliran dan geometri kanal atau laut. Daya yang dibangkitkan turbin hidrokinetik melalui sistem konversi energi hidrokinetik berbanding lurus dengan kecepatan aliran.

2.5 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator pada energi terbarukan berfungsi untuk mengubah energi mekanik dari rotor turbin menjadi energi listrik yang akan di suplai ke beban atau pun ke jaringan listrik yang lain. Beberapa macam generator telah digunakan bersama dengan teknologi energi terbarukan seperti turbin angin. Turbin angin kecil biasanya dilengkapi dengan generator arus searah (DC) dengan kapasitas sampai dengan beberapa kilowatt. Turbin angin modern telah menggunakan sistem tiga fasa dengan generator arus bolak-balik (AC).

Beberapa tipe generator AC yang digunakan dalam turbin energi terbarukan antara lain:

1. Generator Induksi Rotor Sangkar / *Squirrel Cage rotor Induction Generator (SCIG)*
2. Generator Induksi Rotor Belitan / *Wound rotor Induction Generator (WRIG)*
3. Generator Induksi Eksitasi Ganda / *Double Fed Induction Generator (DFIG)*
4. Generator Sinkron (dengan eksitasi eksternal) / *Synchronous Generator (with external field excitation)*
5. Generator Sinkron Magnet Permanen / *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* [6] [7].

PMSG merupakan pilihan yang baik untuk kinerja tinggi dalam pembangkit berkecepatan variabel termasuk efisiensi tinggi dan kemampuan kontrol tinggi untuk sistem pembangkit listrik [15]. Tegangan PMSG berbanding terbalik dengan daya beban. Semakin besar daya bebannya maka semakin kecil tegangan generatornya dan semakin besar arus yang perlu disuplai ke beban tersebut. Adanya resistansi dan reaktansi pada belitan stator akan

mengakibatkan munculnya susut tegangan. Menurut Hukum Ohm, besarnya susut tegangan ini akan berbanding lurus dengan arus yang mengalir. Arus tersebut akan ditentukan oleh daya bebannya. Hubungan antara daya dengan arus ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad (1.10)$$

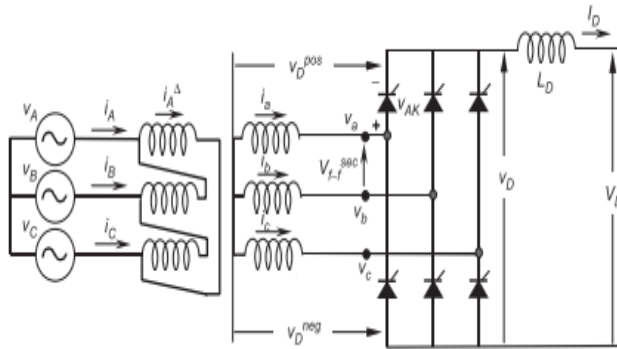
Tegangan PMSG pada saat berbeban juga akan dipengaruhi oleh kecepatan putarnya. Sedangkan torsi yang dihasilkan semakin besar seiring besarnya beban. Torsi pada generator diberikan pada persamaan 1.9 [15].

$$\tau_G = \frac{1}{\eta} N \cdot \tau_T \quad (1.11)$$

Kelemahan lain dari PMSG adalah bahwa bahan magnetik sensitif terhadap suhu. Oleh karena itu, suhu rotor PMSG harus diawasi dan diperlukan sistem pendingin [6].

2.6 Rectifier Three Phase

Penyearah (*Rectifier*) merupakan alat yang digunakan untuk merubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus yang searah (DC). Dalam mengubah tegangan AC menjadi DC ini diperlukan suatu komponen dimana komponen tersebut hanya memperbolehkan arus listrik mengalir hanya dari satu arah. Dan itu bisa diperoleh dari rangkaian *diode* semikonduktor. Pengubah daya AC menjadi DC disebut penyearah (*rectifier*). Penyearah yang menggunakan *diode* adalah penyearah yang tegangan keluarannya tetap. Gambar 2.5 menunjukkan topologi *rectifier three phase full wave*. Untuk mengontrol tegangan beban, penyearah gelombang penuh menggunakan enam pengaturan *diode* [16]. Gambar tersebut menunjukkan bahwa *rectifier* terdapat tiga arus dan tegangan input yang berbeda-beda. Tegangan AC akan dirubah melalui *diode*. Terdapat enam *diode* yang berfungsi merubah masing masing tegangan menjadi tegangan DC. Outputan dari rangkaian tersebut akan menghasilkan tegangan DC seperti yang ditunjukkan V_o pada Gambar 2.5. Pada umumnya *rectifier* tipe ini digunakan untuk merubah tegangan dari keluaran generator tiga fasa yang terdapat pada *renewable energy*.



Gambar 2.5 Rectifier three phase full wave [16].

2.7 Regulator Tegangan Buck Converter

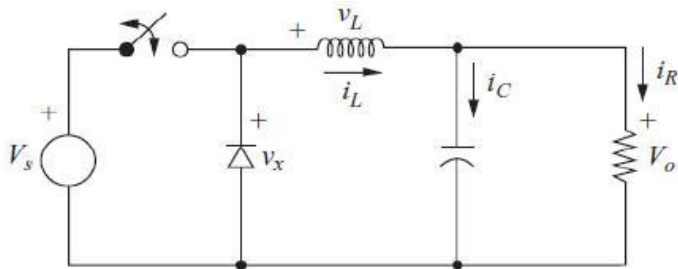
Dalam sistem energi terbarukan (*wind turbine*), *buck converter* digunakan untuk pengontrolan eksitasi DC pada generator. Hubungan tegangan input dan output pada *buck converter* dapat dinyatakan dengan *duty cycle* (D) yang dapat dirumuskan sebagai:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = D \quad (1.12)$$

Suply DC merupakan inputan dari *buck converter* dan tegangan kontrol eksitasi medan adalah merupakan output dari *buck converter*. Tegangan kontrol eksitasi ini akan mengatur tegangan output dari generator.

Pada implementasi *maximum power point tracking* (*MPPT*) pada sistem turbin angin, *buck converter* menyediakan pengontrolan terhadap eksitasi. Diagram rangkaian *buck converter* tersusun seperti Gambar 2.6. Sistem dari *buck converter* dilengkapi dengan kontrol tertutup dari *duty cycle* (D). Kontrol ini akan mengatur *duty cycle* untuk menghasilkan eksitasi DC yang sesuai agar diperoleh daya maksimum dari sistem energi terbarukan.

Rangkaian *buck converter* terdiri atas induktor, kapasitor, MOSFET, dioda. Nilai tegangan pada keluaran bergantung pada proses switch yaitu dengan adanya kondisi waktu on dan waktu off. Skalar atau *switch* pada *buck converter* dapat menggunakan komponen *solid state electronics* antara lain seperti MOSFET, thyristor, IGBT atau GTO [17].

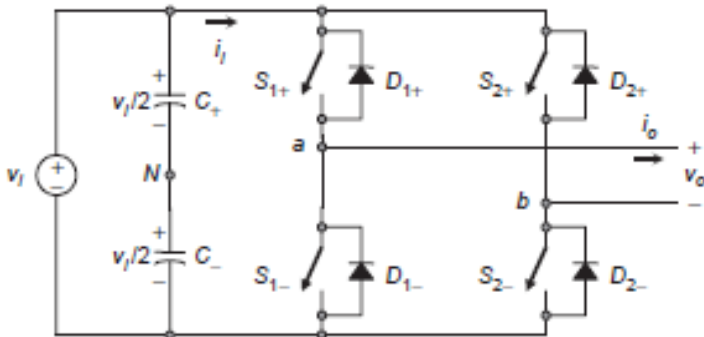


Gambar 2.6 Rangkaian *buck converter* [18].

Buck converter digunakan pada Gambar 2.6 sebagai input inverter. Rangkaian ini merubah tegangan (DC) yang besar menjadi tegangan (DC) lebih rendah. *Buck converter* memungkinkan digunakan ketika rpm generator tinggi.

2.8 Inverter

Inverter adalah tipe lain dari perangkat SMPS (*Switched-Mode Power Supply*) yang mengubah tegangan dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan topologi saklar [7]. Berdasarkan jumlah fasa outputnya inverter DC-AC dibedakan menjadi dua macam yaitu *single phase* dan *three phase*. Pada penelitian ini menggunakan inverter *single phase*. Menurut jumlah *bridge* pada *single phase Voltage Source Inverter (VSI)* dibagi menjadi dua, salah satunya *full bridge VSI* [19]. Gambar 2.9 merupakan model *single phase full bridge VSI*.



Gambar 2.7 Topologi *single phase full bridge VSI* [19]

Inverter ini mirip dengan inverter *half bridge*, namun pada leg kedua memberikan titik netral ke beban. Seperti yang diharapkan, keempat saklar S_{1+} , S_{1-} , S_{2+} , dan S_{2-} tidak dapat menutup secara bersamaan karena konsleting pada sumber tegangan tautan dc vi akan diproduksi. Ada empat status saklar yang didefinisikan (nomer 1, 2, 3, dan 4) dan satu yang tidak didefinisikan (nomer 5) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Status *switch* pada *full bridge single phase VSI* [19]

No	Status <i>Switch</i>	V_o
1.	S_{1+} dan S_{2-} Tertutup	V_i
2.	S_{1-} dan S_{2+} Tertutup	$-V_i$
3.	S_{1+} dan S_{2+} Tertutup	0
4.	S_{1-} dan S_{2-} Tertutup	0
5.	Semua Tertutup	$-V_i, V_i$

Output inverter ini adalah *sine wave modified* inverter, yaitu inverter dengan tegangan output berbentuk gelombang kotak yang dimodifikasi sehingga menyerupai gelombang sinus. Inverter jenis ini memiliki efisiensi daya yang rendah apabila digunakan untuk menyuplai beban induktor atau motor listrik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Studi Eksperimen

Studi eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi batas yang terkendalikan [20]. Pengujian eksperimen dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan. Dalam studi eksperimen ini terdapat tiga tahapan yaitu mengenai eksperimen potensi turbin hidrokinetik, eksperimen karakteristik sistem konversi daya, dan yang terakhir merupakan tujuan dari penelitian dari gabungan keduanya yaitu eksperimen sistem integrasi atau bisa disebut pembangkit listrik tenaga hidrokinetik. Dalam studi eksperimen masing masing memiliki input dan output berbeda beda akibat variabel yang diberikan berbeda beda. Tabel 3.1 menunjukkan variabel yang diberikan pada tiap tahapan eksperimen untuk mendapatkan sistem integrasi (pembangkit listrik tenaga hidrokinetik).

Tabel 3.1 Parameter eksperimen

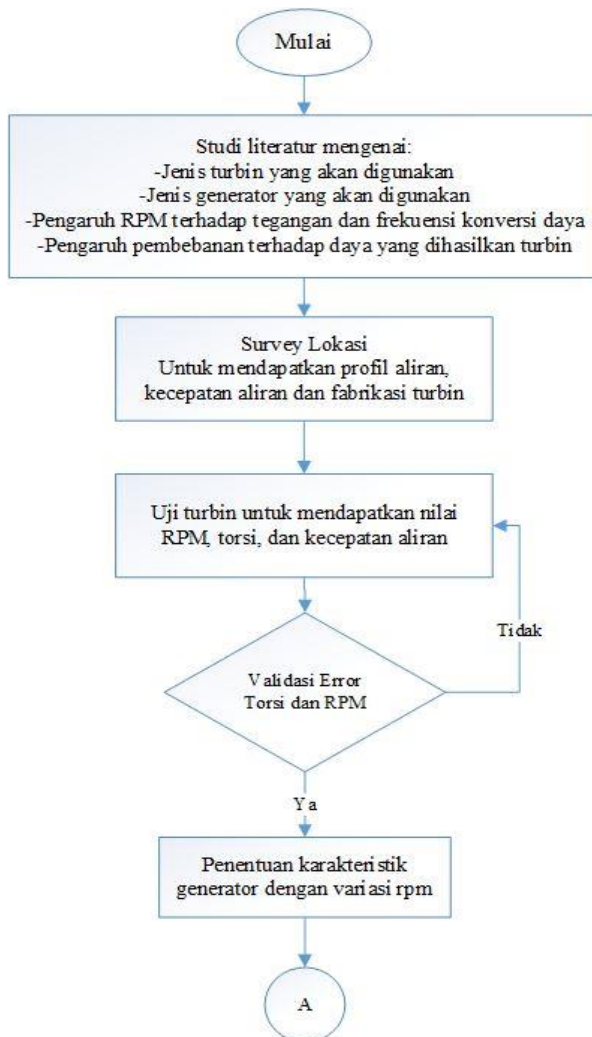
Eksperimen yang dilakukan	Nilai yang diukur	Variabel bebas	Variabel Terikat
Potensi Turbin	<ul style="list-style-type: none">• Torsi (Nm)• Kecepatan putar (rpm)• Kecepatan inlet aliran (m/s)	<ul style="list-style-type: none">• Variasi kecepatan aliran air	<ul style="list-style-type: none">• Daya air (W)• Daya turbin (W)
Karakteristik Sistem Konversi Daya	<ul style="list-style-type: none">• Kecepatan putar (rpm)• Frekuensi (Hz)• Tegangan (v)	<ul style="list-style-type: none">• Variasi rpm• Variasi beban	<ul style="list-style-type: none">• Tegangan (v)• Frekuensi (Hz)• Kecepatan putar (rpm)

Sistem Integrasi	<ul style="list-style-type: none"> • Kecepatan putar (rpm) • Kecepatan aliran (m/s) • Frekuensi (Hz) • Tegangan (v) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variasi kecepatan aliran air • Variasi rpm • Variasi beban 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya air (W) • Daya turbin (W) • Tegangan (v) • Frekuensi (Hz) • Kecepatan putar (rpm)
------------------	---	--	--

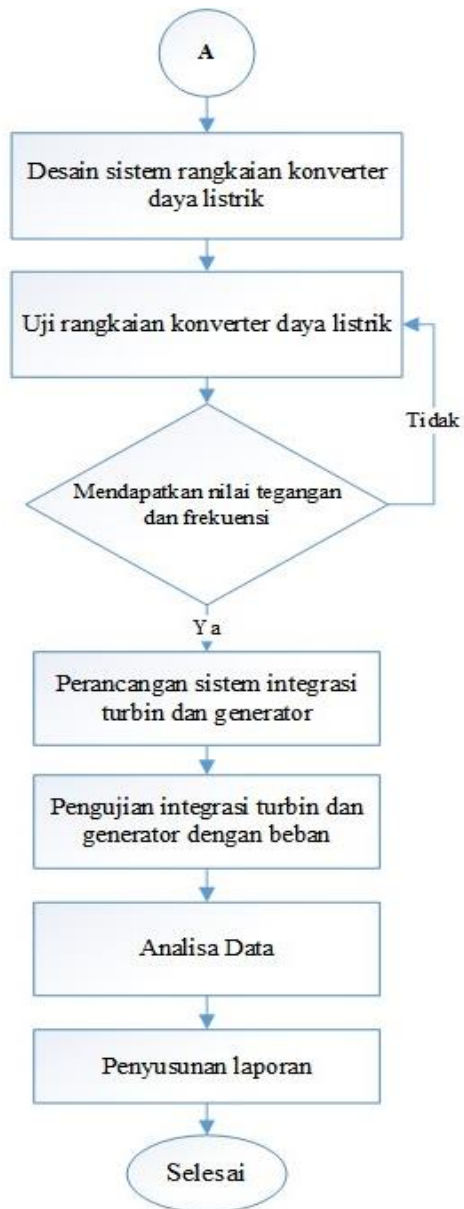
3.2 Diagram Alir Penelitian

Untuk menjawab tujuan yang telah dibuat maka diperlukan metodologi penelitian berupa diagram alir dimana terdiri dari langkah-langkah melakukan eksperimen. Pembuatan diagram alir bertujuan agar peneliti dapat memonitoring hasil capaian yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan tugas akhir ini. Pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 merupakan diagram alir penelitian tugas akhir yang akan digunakan. Pelaksanaan tugas akhir mengenai studi eksperimental sistem konversi daya pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine-Straight Blade Cascaded* (VAHT-SBC) dimulai dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan bertujuan untuk mendapatkan referensi agar dapat mendukung jalannya penelitian, sehingga dapat mengetahui prosedur yang akan dilakukan untuk penelitian ini. Selanjutnya menentukan lokasi eksperimen untuk pengujian alat dan pengambilan data. Penentuan lokasi eksperimen sangat menentukan karena berpengaruh terhadap ukuran geometri turbin dan juga menentukan sistem integrasi antara turbin dengan generator. Setelah menentukan lokasi eksperimen dan telah melakukan fabrikasi turbin tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian turbin. Variabel yang akan diukur dalam pengujian ini adalah nilai kecepatan arus sungai, torsi dan rpm yang dihasilkan oleh turbin, dan nilai C_p yang dihasilkan oleh turbin. Nilai rpm yang didapat sebagai acuan untuk melakukan penentuan karakteristik generator.

Karakteristik generator dilakukan dengan motor sebagai pengganti turbin untuk mendapatkan nilai tegangan dan frekuensi generator dari rpm yang berbeda. Nilai rpm yang akan diberikan terhadap generator adalah 227, 316, 341, 395, 493.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian bagian 1.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian bagian 2.

Pada tahap selanjutnya akan dilakukan desain sistem rangkaian konverter. Desain ini bertujuan agar tegangan yang keluar dari generator dapat digunakan. Pemilihan komponen pada konverter menjadi topik utama pada tahap ini. Komponen yang akan digunakan dalam desain konverter antara lain, *rectifier three phase*, regulator tegangan serta inverter. Selanjutnya komponen tersebut akan dilakukan pengujian dengan generator untuk mendapatkan hasil setiap keluaran dari masing masing komponen.

Pengujian ini dilakukan terhadap generator dengan tidak memberikan beban dan memberikan beban terhadap rangkaian. Nilai yang diambil dari uji rangkaian konverter daya adalah rpm generator, tegangan dan frekuensi output pada generator, tegangan output pada *rectifier three phase*, tegangan output pada regulator tegangan, tegangan dan frekuensi pada inverter. Data yang diperoleh tersebut digunakan untuk menganalisa performa generator terhadap perubahan rpm setelah dan sesudah diberikan beban. Pembebanan sebagai referensi untuk menentukan beban yang dapat diterima turbin dengan rpm yang dihasilkan oleh turbin. Pembebanan dilakukan dengan beban berupa lampu pijar dengan berbagai variasi beban.

Perancangan sistem integrasi ini dilakukan pada turbin dan generator beserta konverter daya. Pada sistem integrasi pada turbin dan generator dilakukan dengan menggunakan *belt and pulley* dengan *ratio pulley* 1:3, 1:4, dan 1:5. Pada transmisi ini turbin merupakan elemen penggerak dan generator merupakan elemen yang akan digerakkan. Pengujian sistem terintegrasi ini dilakukan dengan mengambil data pada rpm turbin, rpm generator, tegangan dan frekuensi output tegangan generator, tegangan output, dan *rectifier three phase* terhadap berbagai pembebanan hingga beban maksimum yang dapat diterima turbin. Data eksperimen yang didapat diolah dan dianalisis dalam bentuk tabel dan grafik untuk dapat disimpulkan hasilnya. Penyusunan laporan dilakukan setelah mendapatkan hasil analisa dan kesimpulan pada tugas akhir ini.

3.3 Lokasi Eksperimen

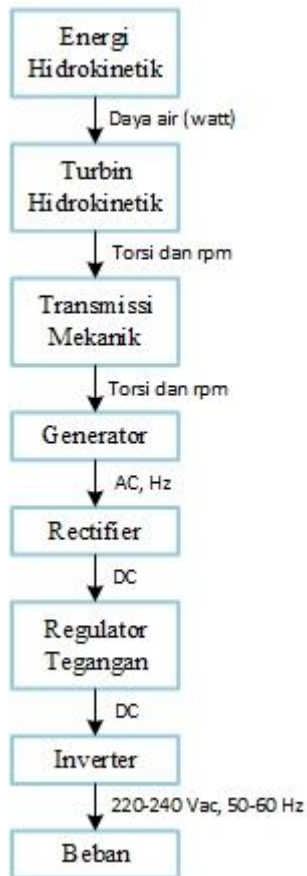
Lokasi eksperimen pada tugas akhir kali ini adalah kanal terbuka yang bertempat di Kanal Umbulan PDAM Pasuruan. Kanal ini memiliki karakteristik yang sesuai dengan turbin karena memiliki aliran yang dirasa cukup untuk dilakukannya eksperimen dengan lebar dari kanal itu sendiri sebesar 0.94 hingga 0.97 m dan memiliki kedalaman sebesar 1.55-1.59 m. Kecepatan aliran pada kanal ini dapat mencapai 0.92 m/s. Pengambilan data pada kecepatan aliran inlet dilakukan sebanyak 5 kali yang kemudian didapatkan rata-rata hasil pengukuran seperti pada Tabel 3.1. Titik pengambilan kecepatan aliran berada pada 3 lokasi yang berbeda.

Tabel 3.2 Hasil pengukuran profil kanal.

No.	Lokasi	Lebar Kanal (m)	Kedalaman Kanal (m)	Kecepatan Aliran Air (m/s)
1.	Site A	0.95	1.57	0.74
2.	Site B	0.97	1.55	0.82
3.	Site C	0.94	1.59	0.92

3.4 Diagram Blok Sistem Integrasi

Pada penelitian ini terdapat diagram blok untuk mengetahui input dan output pada setiap prosesnya. Output dan input ini mempermudah kita dalam menganalisa setiap proses yang terjadi pada eksperimen kita. Pada eksperimen ini digram blok sistem integrasi (konversi energi hidrokinetik) terdapat pada Gambar 3.4. Diagram blok dimulai dari turbin yang mengekstrak energi hidrokinetik kemudian merubah menjadi energi mekanik yang akan disalurkan melalui transmisi mekanik. Melalui transmisi nilai rpm akan diterukan menuju generator dan konversi daya. Pada generator energi listrik yang dihasilkan berupa tegangan AC yang kembudian akan distabilkan oleh konversi daya untuk menjadikan tegangan yang standart yaitu 220-240 Vac dan frekuensi 50-60 Hz.



Gambar 3.3 Blok Diagram Sistem Integrasi

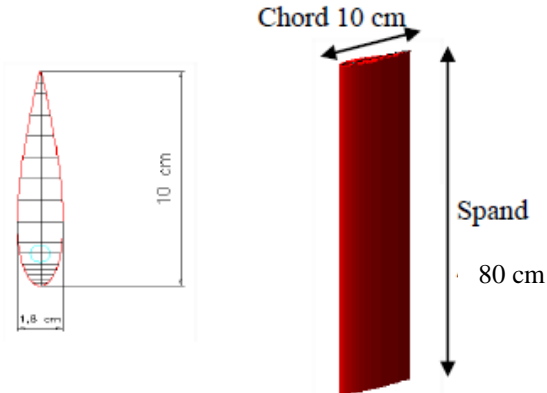
3.5 Desain Sistem Integrasi

Desain dilakukan untuk menentukan komponen yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir kali ini. Setiap komponen akan digabungkan sehingga saling mengintegrasikan satu sama lain.

3.3.1 Geometri Turbin

Turbin yang digunakan merupakan turbin *darrieus straight blade cascaded* yang menggunakan airfoil dengan NACA 0018. *Span* pada dimensi *airfoil* yang digunakan sebesar 80 cm dan *chord* yang

digunakan sebesar 10 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Geometri airfoil turbin.

Setiap *arm* pada turbin memiliki tiga buah *airfoil* dengan masing-masing *arm* terdapat tiga airfoil sehingga total sembilan buah. Ukuran pada geometri turbin ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3 Ukuran geometri turbin.

No	Aspek Geometri	Ukuran (meter)
1.	<i>Chord airfoil</i>	0.1
2.	<i>Thickness airfoil</i>	0.018
3.	<i>Span airfoil</i>	0.8
4.	Diameter <i>Arm</i>	0.8
5.	Diameter <i>Shaft</i>	0.028
6.	Tinggi <i>Shaft</i>	1.35
7.	Dimensi <i>frontal area</i> turbin	$0.8\pi \times 0.8$

3.3.2 Fabrikasi Turbin, Kerangka Turbin, dan Generator

Tahap pertama fabrikasi turbin ini yaitu dilakukannya pembuatan *hydrofoil*. *Hydrofoil* dibuat menggunakan material plat besi yang dilapisi dengan komposit fiber dengan *resin*, dengan hal ini maka rupa turbin dapat mendekati bentuk dari NACA 0018. Jumlah *blade* yang digunakan sebanyak 9 *blade* yang terdiri dari 6

fix pitch dan 3 *passive pitch*. Berdasarkan hasil survei lokasi lebar kanal berkisar antara 0.94-0.97 m. Ukuran lebar sungai menentukan ukuran turbin dan rangka itu sendiri. Ukuran rangka yang dibuat dengan dimensi 0.8 m². Dengan ukuran ini maka lebar rangka akan masuk seluruhnya didalam kanal. Pada tahap ini juga dilakukan penggabungan komponen-komponen pelengkap untuk turbin tersebut. Beberapa komponen yang dibutuhkan adalah pembuatan pembuatan *stopper* untuk *blade* terluar turbin dan kerangka turbin. Tahap kedua merupakan tahap pemasangan generator kedalam rangka turbin sehingga *shaft* turbin dapat disambungkan dengan poros generator menggunakan *belt and pulley*.



Gambar 3.5 VAHT-SBC yang digunakan tampak samping.

Gambar 3.6 merupakan gambar tampak samping, turbin yang telah selesai fabrikasi. Jika dilihat blade warna kuning merupakan blade dengan *fix pitch* sedangkan blade yang berwarna hijau merupakan blade dengan mekanisme *passive pitch*.

3.3.3 Sistem Transmisi

Elemen transmisi merupakan bagian dari mesin mekanik yang digunakan dalam penghubung dari suatu putaran. Dalam penelitian ini sistem transmisi yang digunakan merupakan jenis transmisi *belt and pulley*. Transmisi jenis ini menghubungkan

antara poros penggerak dengan poros yang digerakan dengan sabuk (*belt*). *Pulley* yang digunakan oleh generator berdiameter 5.08 cm, sedangkan untuk turbin digunakan *pulley* bervariasi 15.24 cm, 20.32 cm, dan 25.4 cm sehingga perbandingan rasio bernilai 1:3, 1:4, dan 1:5. *Pulley* yang digunakan oleh turbin merupakan *pulley* penggerak sedangkan pada generator merupakan *pulley* yang digerakkan. Pada Gambar 3.6 merupakan sistem transmisi *belt and pulley* yang digunakan pada turbin dan generator untuk penelitian tugas akhir ini.



Gambar 3.6 Sistem transmisi *belt and pulley* dengan rasio 1:5.

3.3.4 Generator

Generator yang digunakan merupakan generator type *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*. Generator ini berkapasitas 600 watt dengan rpm tertinggi yaitu 650 rpm. PMSG yang dipilih memiliki output tegangan *three phase* dengan arus bolak balik (AC). Gambar 3.7 merupakan generator yang akan digunakan pada penelitian ini. Generator ini nantinya akan di hubungkan dengan rectifier. Penunjukan karaktesitik generator yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel. 3.2



Gambar 3.7 PMSG three phase.

Tabel 3.4 Spesifikasi PMSG three phase yang digunakan.

No	Spesifikasi	Generator AC
1	Tipe	Permanent Magnet Generator
2	<i>Rated Torque</i>	0.52 Nm
3	RPM	600 rpm
4	<i>Output Current</i>	AC
5	<i>Rated Power</i>	600 Watt
6	<i>Rated Voltage</i>	12/24/48 Volt
7	<i>Excitation</i>	0 - 220 Vdc
8	<i>Phase</i>	3

3.3.5 Konverter

Terdapat tiga komponen konverter yang akan digunakan yaitu *rectifier three phase*, regulator tegangan step down, dan inverter. *rectifier three phase* yang akan digunakan merupakan *rectifier* dengan output arus searah (DC) seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rectifier three phase.

Regulator tegangan yang digunakan merupakan regulator *step down* atau *buck converter*. Regulator ini bertujuan menurunkan tegangan input dari *rectifier* hingga mencapai 14.5 Vdc agar dapat dibaca oleh inverter. Pada penelitian ini dipilih regulator tegangan dengan kapasitas 200 watt dengan input terbesar 60 Vdc ditunjukkan pada Gambar 3.9. Pemilihan regulator tegangan ini berdasarkan hasil dari kemampuan turbin mengekstrak energi hidrokinetik.



Gambar 3.9 Buck converter 200 watt.

Pemilihan inverter merupakan penentu akhir untuk merubah arus, tegangan dan frekuensi agar dapat sesuai dengan beban yang diberikan. Inverter yang digunakan memiliki output arus bolak balik (AC) dan juga tegangan berupa *sine wave modified*. Kapasitas inverter ini sendiri mencapai 500 watt seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Sine wave modified inverter.

3.6 Prosedur Percobaan

Prosedur percobaan merupakan langkah dalam mengambil data pada tugas akhir kali ini. Pengujian komponen dilakukan sebanyak dua macam yaitu pengujian karakteristik generator dan pengujian sistem integrasi turbin, generator, dan sistem konversi daya. Dalam prosedur percobaan ini terdapat alat ukur yang digunakan dalam mengukur eksperimen yang akan dilakukan.



Gambar 3.11 *Current meter* yang digunakan

Gambar 3.11 merupakan *current meter* yang berfungsi sebagai pengukur kecepatan aliran air sebelum memasuki turbin.



Gambar 3.12 *Torquewerch* digunakan mengukur torsi turbin

Gambar 3.12 merupakan *torquewerch* yang berfungsi sebagai alat ukur torsi pada turbin. *Torquewerch* ini merupakan jenis manual tau biasa digunakan pada pengukuran torsi motor. Pada eksperimen ini *torquewerch* dipasangkan dengan shaft turbin menggunakan kunci penyambung dan diukur setiap pergeseran azimuth 30^0 . Torquewerch t



Gambar 3.13 *Tachometer* digunakan mengukur kecepatan putar

Gambar 3.13 merupakan *tachometer* yang berfungsi sebagai alat ukur kecepatan putar pada turbin dan generator. *tachometer* ini merupakan jenis digital dengan satuan *radian per second*. Pada eksperimen ini *tachometer* digunakan pada setiap eksperimen. Pertama, eksperimen potensi turbin, *tachometer* digunakan untuk menghitung putaran turbin ketika berada didalam kanal. Kedua, eksperimen karakteristik sistem konversi daya, *tachometer* digunakan untuk mengukur putaran generator ketika dipasangkan dengan motor dan ketika mengalami penurunan akibat adanya beban. Ketiga, eksperimen sistem integrasi, *tachometer* digunakan mengukur putaran turbin dan generator setelah diintegrasikan saat tidak beri beban maupun sudah diberi beban.



Gambar 3.14 *Multimeter* yang digunakan

Gambar 3.14 merupakan *multimeter* yang berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan frekuensi pada komponen sistem konversi daya. *Multimeter* ini merupakan *multimeter* jenis digital.

3.4.1 **Prosedur Percobaan Pengujian Potensi Turbin**

- a Turbin yang telah difabrikasi dengan mekanisme *darrieus straight blade cascaded* disiapkan.
- b Profil dari kanal dihitung untuk mengetahui kedalaman kanal dan lebar kanal.
- c Kecepatan aliran air pada kanal dihitung sebagai *inlet* aliran menuju turbin dengan menggunakan *current meter*.
- d Nilai rpm turbin dihitung dengan menggunakan *tachometer*.
- e Nilai torsi pada turbin dihitung dengan pergeseran sudut azimuth sebesar 30^0 dimulai dari 0^0 hingga 360^0 . Torsi dihitung dengan menggunakan alat ukur *torque wrench*.
- f Langkah b hingga e diulangi dengan menentukan lokasi kanal yang berbeda dengan kecepatan aliran yang juga berbeda.

3.4.2 **Prosedur Percobaan Pengujian Karakteristik Generator**

- g Generator dan motor yang telah fabrikasi disiapkan beserta variasi *pulley*.

- h Generator dipasangkan dengan variasi *pulley* pertama dan dihubungkan dengan motor menggunakan *belt*.
- i Generator dipasangkan dengan *rectifier three phase*, regulator tegangan, dan juga inverter. Regulator inverter disetting terlebih dahulu dengan output 14.5Vdc
- j Motor dihidupkan lalu rpm pada generator diukur menggunakan *tachometer*.
- k Tegangan dan frekuensi tiap komponen diukur (generator, *rectifier*, regulator tegangan, dan inverter) menggunakan *multimeter*. Pada generator dan inverter *multimeter* yang digunakan disetting dalam keadaan pengukuran tegangan bolak balik (AC) sedangkan tegangan searah (DC) untuk regulator tegangan.
- l Nilai rpm generator dihitung kembali untuk mengetahui pengaruh beban terhadap kinerja generator menggunakan *tachometer*.
- m Langkah d dan f diulangi menggunakan variasi beban yang berbeda.
- n Langkah b hingga g diulangi dengan menggunakan variasi *pulley* kedua, ketiga, keempat, dan kelima.

3.4.3 Prosedur Percobaan Pengujian Sistem Integrasi

- a Turbin yang telah diintegrasikan dengan generator dimasukkan ke dalam kanal. Pada sistem integrasi ini menggunakan variasi rasio 1:3.
- b Hitung kecepatan inlet aliran yang akan memasukan turbin. Pengambilan data ini dilakukan sebanyak 5 kali. Kecepatan aliran diukur menggunakan *current meter*.
- c Nilai rpm turbin dan generator dihitung menggunakan *tachometer*.
- d Tegangan dan frekuensi tiap komponen diukur (generator, *rectifier*, regulator tegangan, dan inverter) menggunakan *multimeter*. Pada generator dan inverter *multimeter* yang digunakan disetting dalam keadaan pengukuran tegangan bolak balik (AC) sedangkan tegangan searah (DC) untuk regulator tegangan.

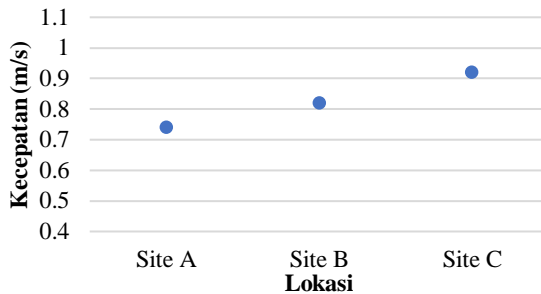
- e Langkah b hingga d diulangi menggunakan variasi beban yang berbeda.
- f Langkah b hingga e diulangi dengan variasi rasio *pulley* 1:4 dan 1:5.
- g Langkah a dan f diulangi dengan lokasi yang berbeda.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kinerja *Vertical Axis Horizontal Turbine Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC)*

Pada penelitian ini eksperimen dimulai pengujian kinerja turbin dengan mengukur nilai kecepatan inlet menggunakan *current meter*. Pengukuran ini dilakukan sebanyak 5 kali sehingga didapat nilai rata-ratanya. Pengukuran dilakukan pada 3 lokasi yang memiliki kecepatan inlet berbeda seperti pada Gambar 4.1.



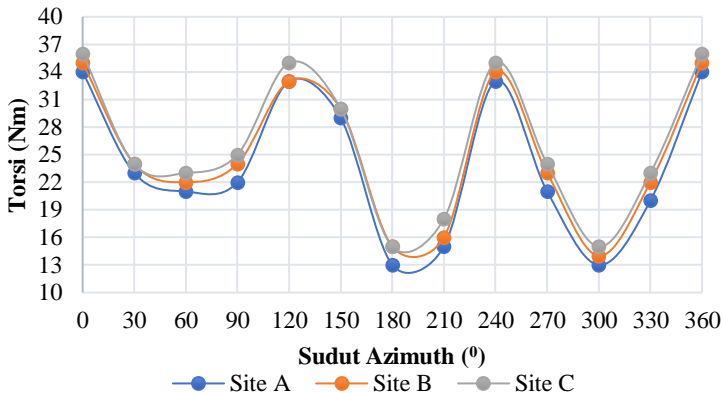
Gambar 4.1 Nilai kecepatan inlet pada setiap lokasi.

Pengujian pada 3 lokasi ini juga diambil nilai torsi menggunakan *torque wrench* dengan *azimuth* yang berbeda dan nilai rpm menggunakan *tachometer*. Site A memiliki kecepatan sebesar 0.7 m/s, site B sebesar 0.82 m/s, dan pada site C sebesar 0.92 m/s. Pengujian torsi diambil tiap 30⁰ pergeseran sudut *azimuth* dimulai 0⁰ hingga 360⁰ dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan sumbu x menunjukkan besaran sudut *azimuth* dan sumbu y menunjukkan besaran nilai torsi yang dihasilkan. Jika dilihat nilai torsi terbesar berada pada *azimuth* 0⁰ dan 360⁰ ini terjadi pada semua lokasi berbeda, hal ini karena pada *azimuth* 0⁰ dan 360⁰ arm turbin tepat berada pada inlet air sehingga menyebabkan nilai torsi besar karena gaya yang diterima juga besar. Nilai terkecil torsi berada pada *azimuth* 180⁰ dan 300⁰ karena pada *azimuth* 180⁰ arm berada tepat dibelakang sehingga nilai gaya yang diterima kecil sedangkan pada *azimuth* 300⁰ nilai torsi kecil karena gaya terbagi

dua dengan arm yang berada pada azimuth 60^0 . Pada nilai torsi turbin didapatkan hasil rata-rata pada setiap *azimuth* yang dipaparkan pada Tabel 4.1. Nilai rata-rata torsi terbesar terdapat pada kecepatan inlet 0.92 yang berada pada lokasi site C sedangkan nilai rata-rata torsi terkecil terdapat pada lokasi site A dengan besar 23.923 Nm. Nilai rpm pada ketiga lokasi cukup bervariasi dan menunjukkan semakin besar nilai kecepatan inlet semakin besar juga nilai rpm dan torsi yang dihasilkan oleh turbin.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran rata-rata torsi dan rpm turbin.

Lokasi	Kec Aliran (m/s)	Nilai RPM	Nilai Torsi (Nm)
Site A	0.74	61.736	23.923
Site B	0.82	63.156	25.154
Site C	0.92	63.772	26.077



Gambar 4.2 Profil torsi pada pergeseran *azimuth*.

Daya turbin adalah tingkat atau kemampuan dari turbin mengekstraksi energi yang tersedia di alam. Nilai daya mekanik dari turbin ini dapat diketahui dengan adanya data dari turbin yaitu data rpm yang dikonversi menjadi kecepatan sudut (ω) dan rata-rata Torsi (T). Dari nilai daya mekanik tersebut dapat diketahui pula efisiensi dari turbin. Efisiensi dicari guna mengetahui seberapa banyak energi yang dapat di ekstraksi dari daya air.

Performa sebuah turbin diwakili oleh sebuah koefisien yang bernama koefisien performansi (C_p), C_p merupakan hasil perhitungan efisiensi dari turbin itu sendiri dimana merupakan perbandingan daya yang dihasilkan turbin dengan daya yang dihasilkan oleh aliran air di kanal terbuka. Perhitungan performansi turbin yang dihasilkan dengan inlet 0.74 m/s sebagai penjelasan pada Tabel 4.2.

$$P_{air} = \frac{1}{2} [1000 (2.0096)(0.74)^3]$$

$$= 407.17 \text{ watt}$$

$$P_t = [23.923 \cdot 2\pi \cdot 61.736]/60$$

$$= 154.584 \text{ watt}$$

$$\eta = [154.584/407.17] \cdot 100\%$$

$$= 37.9 \text{ (Nilai Efisiensi)}$$

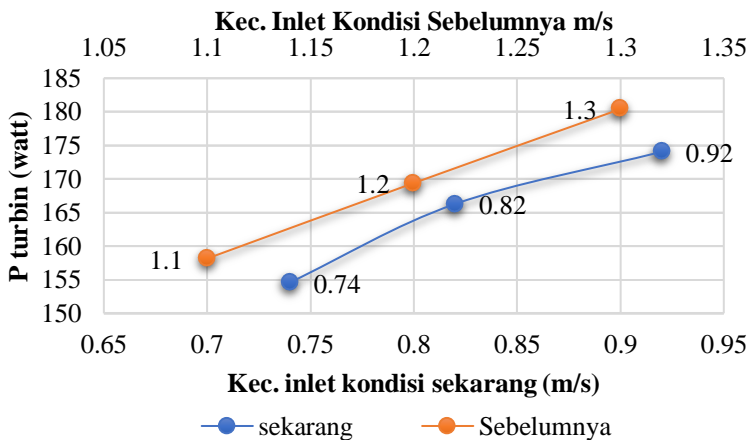
Tabel 4.2 Efisiensi daya turbin VAHT-SBC.

Lokasi	Pturbin (watt)	Pair (watt)	Cp	Efisiensi
Site A	154.584	407.169	0.379	37.9
Site B	166.275	554.015	0.3	30
Site C	174.058	782.426	0.2225	22.25

Jika dilihat pada Tabel 4.2 nilai potensi daya turbin menunjukkan kenaikan seiring dengan kenaikan nilai kecepatan inlet hal ini karena pengaruh nilai torsi yang juga linier terhadap kecepatan inlet. Disisi lain daya air juga naik akibat kenaikan kecepatan inlet, dapat dilihat pada inlet 0.74 m/s memiliki daya air 407.169 sedangkan pada inlet 0.92 m/s memiliki daya air 782.426. Secara perhitungan kenaikan ini dikarenakan nilai daya air berbanding lurus terhadap kecepatan inlet sedangkan nilai efisiensi turbin sendiri cenderung turun. Nilai efisiensi terbesar yang dihasilkan pada eksperimen ini dimiliki oleh inlet 0.74 m/s yaitu sebesar 37.9. Penurunan efisiensi terjadi karena pengaruh pembagi daya air yang membesar seiring dengan bertambahnya kecepatan

inlet. Kecepatan inlet pada daya air berpengaruh karena memiliki nilai berpangkat tiga yang membuat membesarnya nilai daya air.

Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan turbin yang sama dilakukan eksperimen pada tiga variasi kecepatan inlet berbeda yaitu, 1.1 m/s, 1.2 m/s, dan 1.3 m/s (Gunawan, 2014). Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai linier terhadap penelitian ini dimana daya turbin naik seiring bertambahnya kecepatan inlet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada Gambar 4.3 penelitian sebelumnya menempati grafik yang paling atas, hal ini karena penelitian sebelumnya variasi kecepatan inletnya berada diatas penelitian saat ini sehingga menghasilkan daya yang lebih besar karena torsi semakin besar. Daya turbin terbesar pada penelitian sebelumnya mencapai 180.41 dengan kecepatan inlet 1.3 m/s dan yang terkecil berada pada kecepatan 1.1 m/s. Berbeda dengan daya turbin, efisiensi turbin mengalami penurunan seiring bertambahnya nilai kecepatan inlet seperti pada Tabel 4.3. Efisiensi terbesar pada penelitian sebelumnya didapat pada pada kecepatan inlet 1.1 m/s sebesar 42.02 dan yang terkecil pada kecepatan inlet 1.3 sebesar 29.11, hal tersebut juga sama dengan eksperimen sekarang dimana nilai efisiensi turbin memang terdapat pada lokasi dengan kecepatan inlet terkecil (0.74 m/s).



Gambar 4.3 Daya turbin eksperimen sebelumnya dan sekarang

Tabel 4.3 Hasil eksperimen sekarang dan sebelumnya.

Eksperimen sekarang			Eksperimen sebelumnya		
Kec. (m/s)	Pturbin (watt)	Efisiensi	Kec. (m/s)	Pturbin (watt)	Efisiensi
0.74	154.584	37.9	1.1	158.15	42.02
0.82	166.275	30	1.2	169.4	34.69
0.92	174.058	22.2	1.3	180.41	29.11

4.2 Pengaruh Perubahan RPM Terhadap Karakteristik Generator dan Rangkaian Konverter Daya

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dari sistem konverter daya. Motor digunakan sebagai pengganti turbin untuk memberikan nilai rpm terhadap generator. Motor dipasangkan dengan generator menggunakan mekanisme transmisi mekanik jenis *belt and pulley*. *Pulley* yang digunakan berdiameter 40, 30, 28, 25, 19,5 (dalam cm) sehingga menghasilkan variasi rpm pada generator sebanyak lima variasi juga yaitu 227, 316, 341, 395, 493. Perubahan nilai rpm terhadap generator serta rangkaian konverter daya dapat merubah nilai tegangan dan frekuensi. Selain itu, nilai pada tegangan dan frekuensi juga akan berubah ketika generator diberi beban akibat menurunnya kerja motor karena pengaruh beban.

4.2.1 Pengaruh Perubahan RPM Terhadap Tegangan

Eksperimen ini dilakukan dengan melihat tegangan dari generator serta konverter daya menggunakan beban dan tanpa beban sebagai referensi pemasangan generator dan konverter daya ke sistem integrasi. Pada sistem ini tegangan generator akan menjadi input tegangan pada *rectifier* sedangkan output *rectifier* akan menjadi input regulator yang nantinya akan dirubah oleh inverter menjadi tegangan dengan acuan yang digunakan. Dari pengukuran yang dilakukan pada generator, diperoleh bahwa semakin besar nilai rpm generator semakin naik pula nilai tegangan yang diberikan. Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil perubahan rpm terhadap tegangan yang dihasilkan tanpa beban. Keluaran generator *three phase* memiliki *phase* berupa *phase R*, *phase S*,

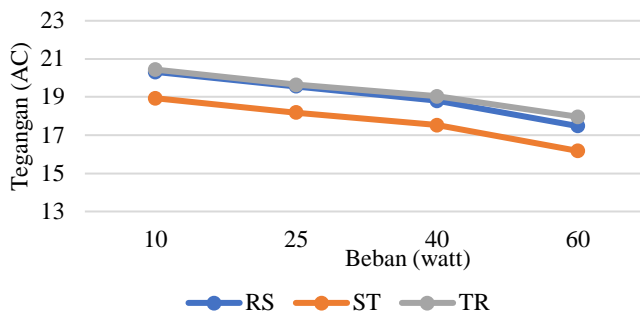
dan *phase* T. Generator ini memiliki keluaran tegangan bolak balik (AC)

Tabel 4.4 Hasil pengukuran tegangan tanpa beban.

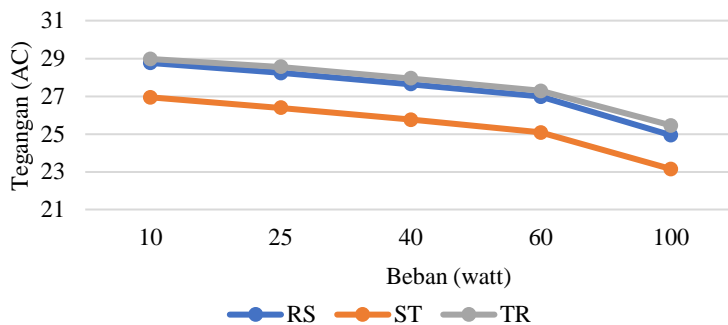
RPM Gene- rator	Tegangan Output Generator (Vac)			Output <i>Rectifier</i> Tiga Fasa (Vdc)
	RS	ST	TR	
227	20.89	19.52	21.05	26.12
316	29.24	27.33	29.36	37.04
341	31.65	29.55	31.78	40.32
395	36.56	34.15	36.75	48.89
493	45.86	42.72	46.91	58.72

Jika dilihat pada Tabel 4.4 terdapat lima variasi rpm generator, dilihat dari atas ke bawah nilai rpm generator semakin besar. Jumlah putaran yang dihasilkan oleh PSMG mempengaruhi jumlah tegangan yang dihasilkan pada generator dan *rectifier*. Seperti nilai pada *rectifier* tiga fasa yang pada rpm 493 memiliki tegangan dengan output tegangan DC terbesar senilai 58.72 Vdc. Begitu juga pada output tegangan generator berupa tegangan AC pada rpm 227 pada tegangan RS (20.89), ST (19.52), dan TR (21.05) memiliki nilai terkecil. Output pada regulator tegangan menunjukkan adanya perbedaan tegangan antara input dan output, seperti pada rpm 227 tegangan input sebesar 26.12Vdc sedangkan tegangan output 14.5 Vdc ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan. Penurunan tegangan ini juga terdapat disemua rpm karena regulator disetting agar outputnya dapat diterima oleh inverter sebesar 14.5 Vdc. Pada inverter sendiri cenderung berada pada range 232.46-232.8 Vac yang menunjukkan nilai ini telah sesuai acuan yang dapat digunakan oleh beban. Pada data diatas pengaruh perubahan rpm pada kondisi ini tidak mempengaruhi nilai ouput inverter seperti pada generator maupun *rectifier*.

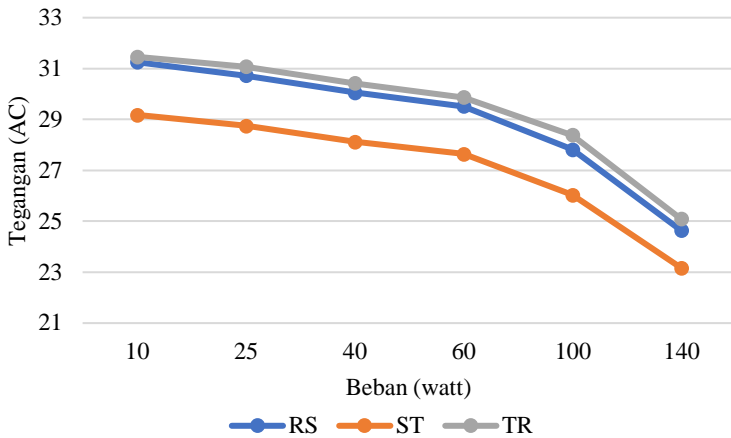
Pada variasi pembebanan kita dapat lihat pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, dan 4.7. Pembebanan yang diberikan cukup bervariasi dari 10 watt hingga 160 watt. Pembebanan yang digunakan berjenis lampu pijar.



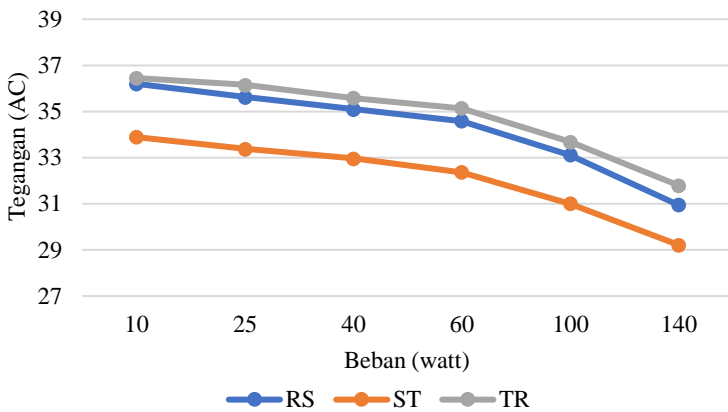
Gambar 4.4 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 227.



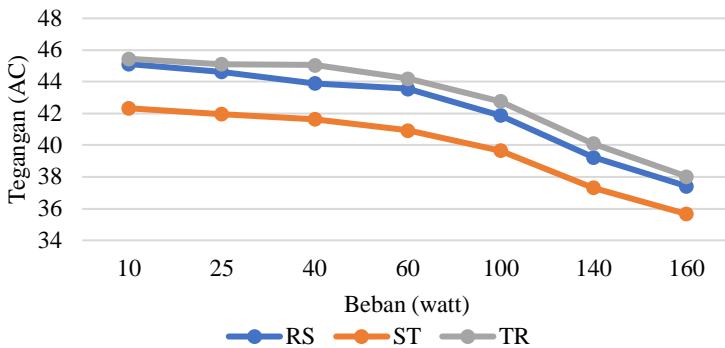
Gambar 4.5 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 316.



Gambar 4.6 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 341.



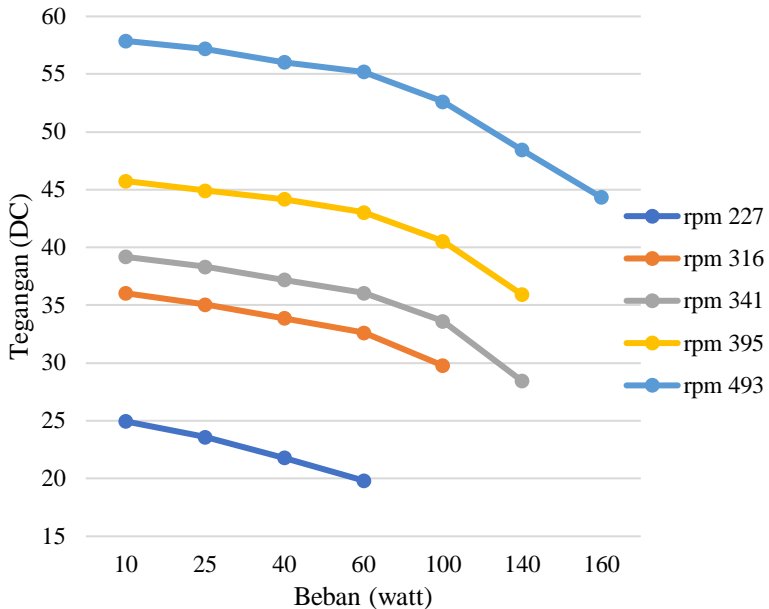
Gambar 4.7 Pengaruh output generator terhadap pembebanan pada rpm 395.



Gambar 4.8 Pengaruh pembebanan terhadap output generator pada rpm 493.

Pada kelima gambar diatas menunjukkan pengaruh output pada generator jika diberi beban. Pada sumbu vertical merupakan output tegangan generator berupa tegangan bolak-balik (AC) dan pada sumbu horizontal merupakan besar beban yang diterima generator pada rpm tersebut. Pembebanan diberikan pada setiap pengujian rpm generator yang berbeda. Pada Gambar 4.3 pembebanan maksimal yang diberikan hanya mencapai 60 watt, sedangkan beban tertinggi diterima oleh rpm 493 atau pada Gambar 4.7 sebesar 160 watt. Perbedaan pembebanan ini karena torsi yang diberikan oleh motor hanya dapat memutar generator hingga beban tersebut. Pengaruh lain dari perbedaan pembebanan karena perbandingan *pulley* antara motor dan generator cukup besar sehingga torsi motor tidak mampu menerima beban tersebut. Torsi akan berbanding terbalik dengan rpm jika dilakukan mekanisme transmisi *belt and pulley*. Disisi lain pembebanan mempengaruhi jumlah tegangan output generator. Jika dilihat kelima grafik pada kelima gambar diatas, semua grafik mengalami penurunan seiring dengan pertambahan jumlah beban yang diberikan.

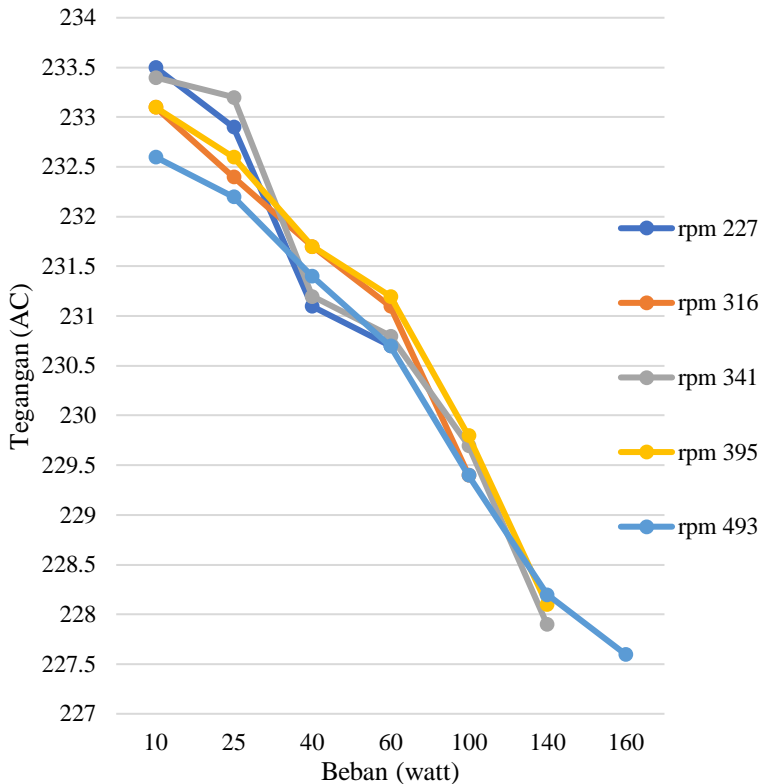
Pada output tegangan *rectifier* tiga fasa ini sama halnya output tegangan generator yang turun akibat bertambahnya beban dan untuk mempermudah menganalisa hasil eksperimen dapat dipaparkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.9 Pengaruh pembebanan terhadap output *rectifier* tiga fasa pada semua rpm.

Grafik diatas menunjukkan dua sumbu yang berbeda dengan sumbu x sebagai besar beban yang diberikan dan sumbu y merupakan tegangan yang dihasilkan. Pada hasil diatas menunjukkan grafik yang terus menurun seiring penambahan beban. Beban terbesar yang mampu diterima sebesar 160 watt dengan rpm yang diberikan 493 dan output *rectifier* sebesar 45.34 Vdc. Selisih output *rectifier* yang berbeban 10 watt dengan 160 watt mencapai 12.54 Vdc. Hal ini juga terjadi pada semua rpm yang memiliki perbedaan pada setiap penambahannya. Output *rectifier* terkecil berada pada rpm 227.68 dengan beban 60 watt sebesar 19.83 Vdc. Penurunan tegangan terjadi secara signifikan pada rentang beban yang cukup besar yaitu 100 watt menuju ke 140 watt. Rentang beban 100 watt ke 140 watt hanya terjadi pada rpm 341, 316, dan 277 dengan selisih tegangan berturut 5.17, 4.61, 4.1 Vdc. Penurunan tersebut karena rentang

beban yang cukup besar dibandingkan rentang yang lainnya. Perbedaan output *rectifier* ini juga mengikuti hasil dari generator yang cenderung kecil ketika diberikan rpm yang kecil.



Gambar 4.10 Pengaruh pembebanan terhadap output inverter.

Pada dasarnya setiap negara memiliki ketentuan untuk setiap acuan tegangan AC yang digunakan. Kondisi tegangan Indonesia yaitu 220-240 Vac. Gambar 4.9 merupakan hasil eksperimen pada output tegangan inverter, sumbu x merupakan besar beban yang diberikan dan sumbu y merupakan output tegangan inverter. Hasil eksperimen menyatakan bahwa inverter menghasilkan tegangan

yang dapat diterima oleh beban. Grafik menunjukkan penurunan seiring dengan penambahan jumlah beban, akan tetapi penurunan ini terbilang sangat kecil. Nilai terkecil tegangan output inverter terdapat pada rpm 493 dengan beban sebesar 160 watt yaitu bernilai 227.6 Vac. Tegangan pada semua rpm berada pada range 233.5-227.6 Vac.

Pada semua grafik pembebanan tegangan menghasilkan poin yang sama yaitu penambahan nilai beban menyebabkan menurunnya tegangan, hal ini karena arus yang diterima seiring dengan kenaikan jumlah beban bertambah. Pembebanan membuat grafik linier kebawah karena mengecilnya nilai tegangan.

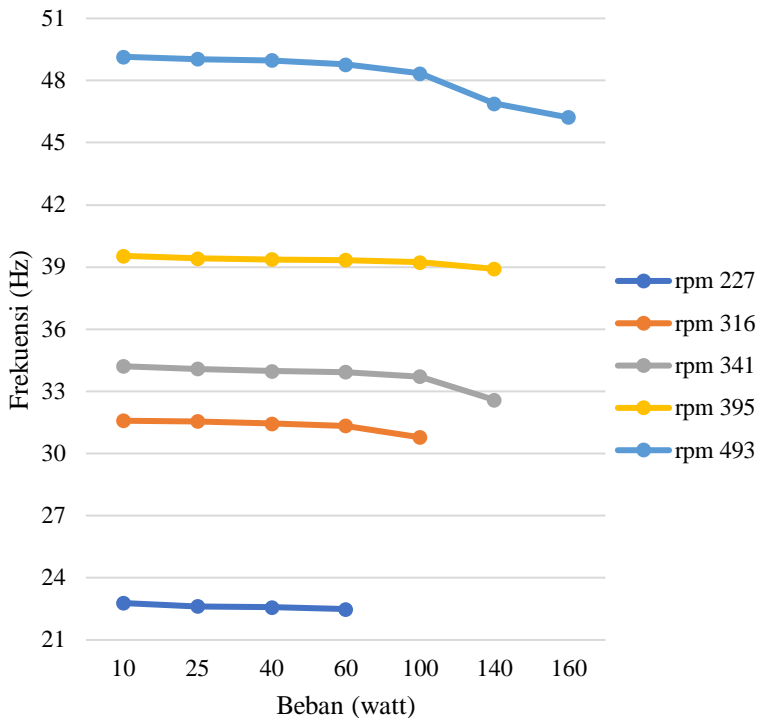
4.2.2 Pengaruh Perubahan RPM Terhadap Frekuensi

Frekuensi yang dihasilkan pada eksperimen ini merupakan output dari generator dan juga output dari inverter karena keduanya memiliki tegangan bolak-balik (AC). Pengujian yang tidak menggunakan beban mendapatkan hasil frekuensi yang bervariasi seiring dengan berbedanya nilai rpm yang diberikan kepada generator. Tabel 4.5 menunjukkan nilai frekuensi yang didapat linier terhadap penurunan nilai rpm.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran frekuensi generator tanpa beban

RPM Generator	Frekuensi Output Generator (Hz)
227	22.78
316	31.67
341	34.19
395	39.57
493	49.26

Frekuensi pada output generator menghasilkan hal yang sama dengan tegangan, nilai akan turun bersamaan dengan penambahan beban. Agar mempermudah menganalisa akan di grafikan kedalam Gambar 4.10.



Gambar 4.11 Pengaruh pembebanan terhadap output frekuensi generator pada semua rpm.

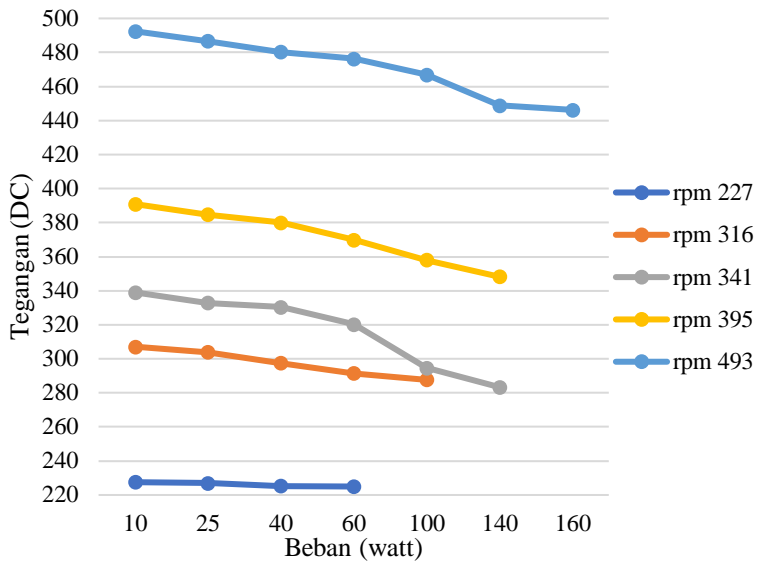
Penurunan frekuensi cenderung kecil, jika kita lihat penurunan terbesar terjadi pada rpm 493.55 dari beban 100 watt menuju 140 watt yaitu sebesar 1.45 Hz. Sedangkan pada rpm 227 terlihat konstan karena penurunan yang sangat kecil dengan nilai frekuensi tiap bebannya berturut 22.78, 22.62, 22.57, dan 22.49 Hz. Frekuensi pada output generator berbanding terbalik dengan output frekuensi pada inverter.

Pada inverter sendiri keluaran frekuensi dapat diterima beban karena masih memiliki rentang yang sesuai dengan acuan yaitu 50-60 Hz. Hasil eksperimen ini menghasilkan frekuensi dalam rentang 56.77-56.99 Hz. Rentang ini diambil dari nilai

terkecil yang dihasilkan dan nilai terbesar yang dihasilkan selama eksperimen. Pada frekuensi output inverter cenderung mengalami kenaikan ketika beban ditambah seperti yang dituliskan pada LAMPIRAN E. Setiap penambahan beban kenaikan tidak lebih dari 0.04 Hz. Terjadi anomali eksperimen pada percobaan kali ini yaitu kenaikan pada rpm 493 dari beban 25 watt menuju 40 watt dengan kenaikan 0.02 Hz dan pada rpm 341 dari beban 25 watt menuju 40 watt dengan kenaikan 0.01 Hz.

4.2.3 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja RPM Generator

Pembebanan tidak hanya mempengaruhi tegangan dan frekuensi pada generator tetapi kinerja generator juga dipengaruhi oleh pembebanan, dalam kasus ini kinerja generator berupa nilai rpm. Pada grafik yang sudah disajikan dalam Gambar 4.11 menunjukkan bahwa sumbu x pada grafik merupakan nilai beban yang diterima oleh generator sedangkan sumbu y pada grafik merupakan nilai rpm yang dihasilkan oleh generator setelah menerima beban. Nilai dari semua rpm awal yang diberikan tanpa beban bernilai 227, 316, 314, 395, 493. Nilai rpm generator semakin turun karena adanya penambahan beban. Hal ini disebabkan karena kerja generator semakin berat karena adanya beban sedangkan motor yang memutar generator mengalami penurunan nilai torsi sehingga kemampuan motor terbatas. Grafik penurunan terjadi secara linier. Terdapat perbedaan selisih pada setiap rpm dengan beban berbeda, hal ini karena *pulley* yang digunakan berbeda ukuran. Diameter terbesar *pulley* berada pada rpm 227.



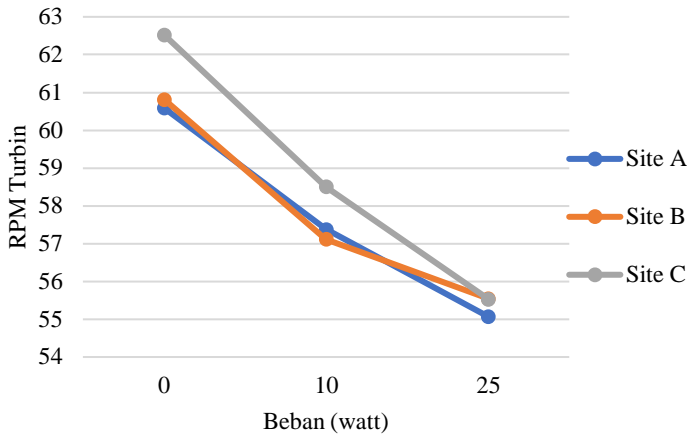
Gambar 4.12 Kinerja rpm generator terhadap pembebanan.

4.3 Kinerja Sistem Integrasi Turbin-Generator

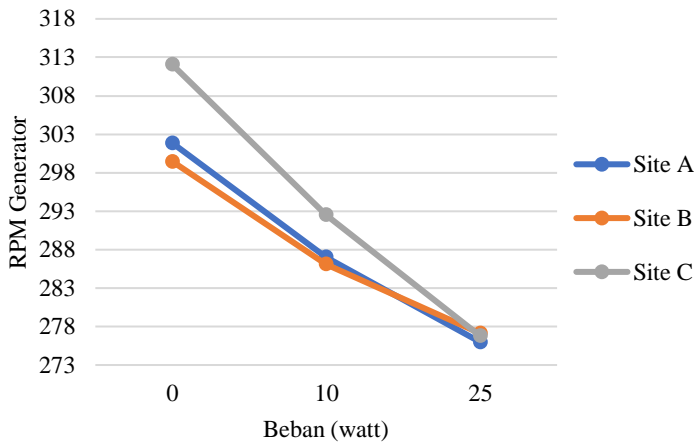
Sistem integrasi ini sama halnya dengan eksperimen pengujian karakteristik konversi daya, hanya saja motor yang digunakan diganti oleh turbin. Pengujian sistem integrasi menggunakan lokasi yang sama dengan pengujian kinerja VAHT-SBC. Terdapat 3 lokasi dengan dengan kecepatan berbeda yaitu 0.74 (site A), 0.82 (site B), dan 0.92 (site C) m/s untuk melakukan pengujian sistem integrasi ini. Turbin yang telah difabrikasi dengan generator dan konverter daya dihubungkan dengan menggunakan *pulley*.

4.3.1 Kinerja Turbin-Generator Terhadap Pembebanan

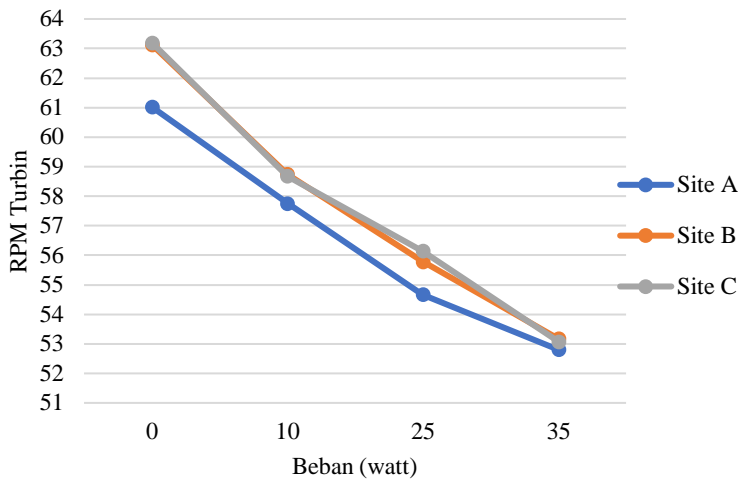
Turbin sebagai pengubah energi kinetik air menjadi energi gerak (putar) untuk generator. Turbin yang diuji pada kanal dengan aliran berbeda menghasilkan nilai rpm yang berbeda. Nilai rpm turbin dapat mempengaruhi kinerja dari generator. Dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga 4.17 merupakan hasil rata-rata rpm turbin pada lokasi berbeda dan rpm generator yang dihubungkan dengan turbin pada *pulley* yang bervariasi.



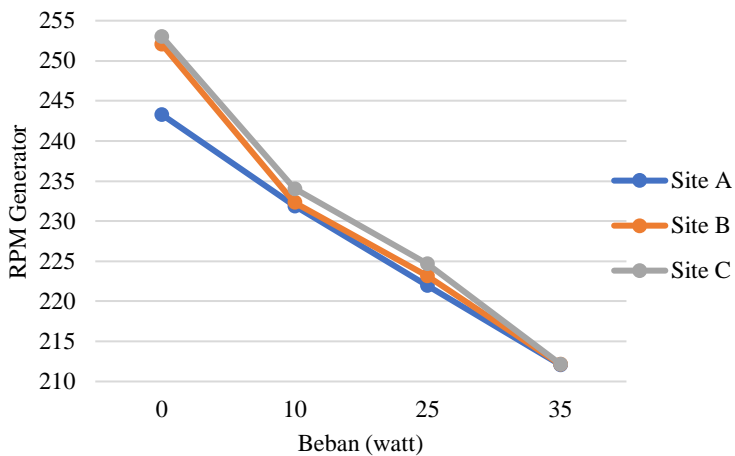
Gambar 4.13 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



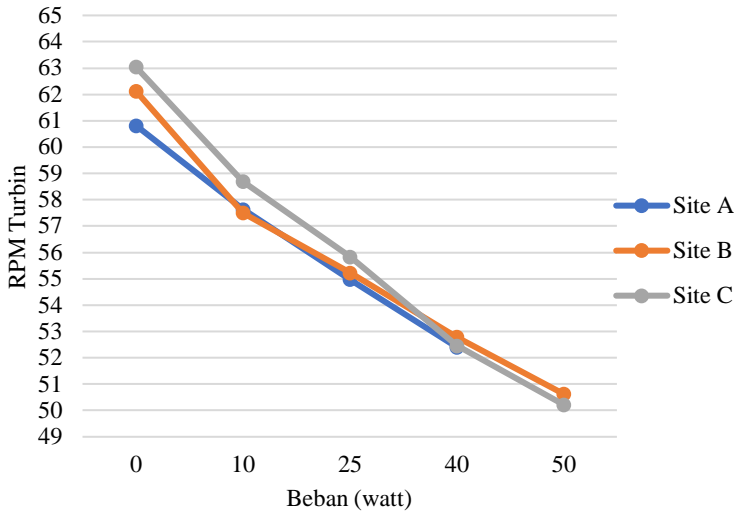
Gambar 4.14 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



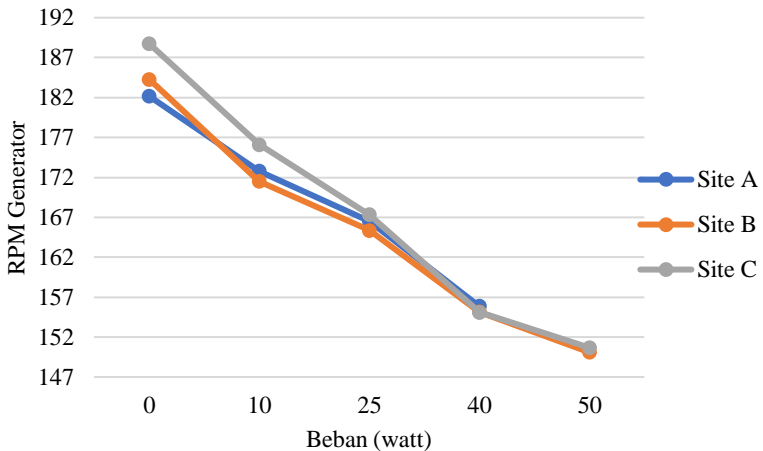
Gambar 4.15 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.



Gambar 4.16 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.



Gambar 4.17 Nilai rpm turbin terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

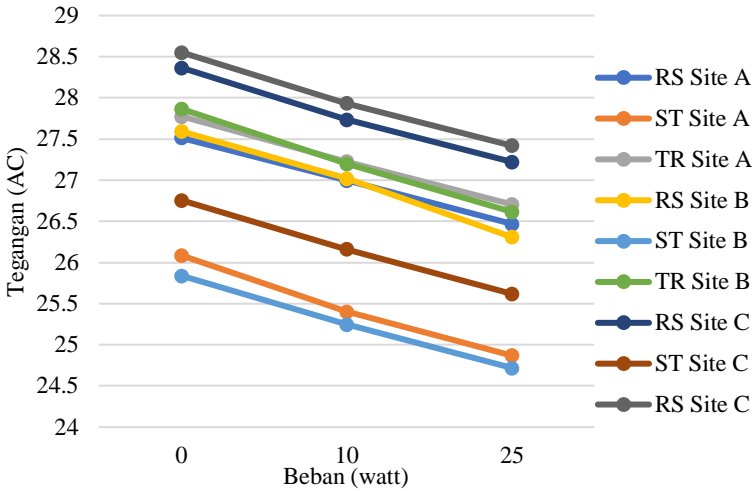


Gambar 4.18 Nilai rpm generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

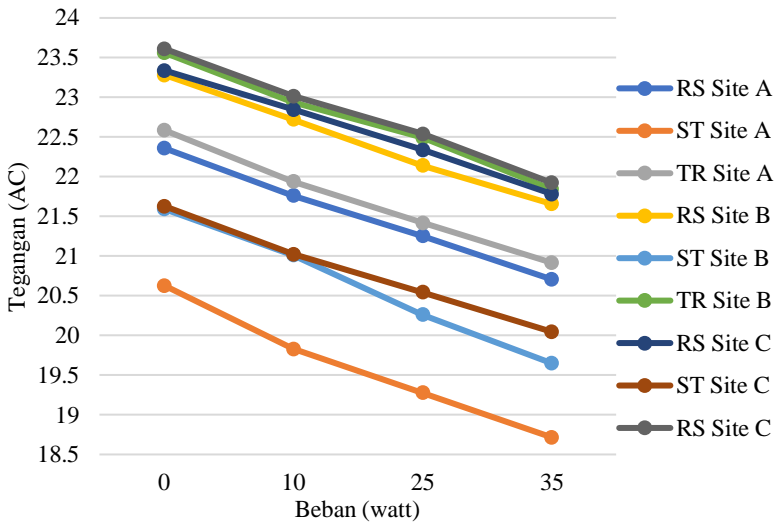
Grafik pada keenam gambar merupakan grafik penunjukkan nilai rpm baik pada turbin maupun generator. Pada sumbu x menunjukkan nilai beban dalam satuan watt dan pada sumbu y menunjukkan nilai rpm yang diterima ketika diberi beban. Jika kita lihat Gambar 4.12, 4.14, dan 4.16 rpm turbin semakin turun bila diberi beban. Penurunan nilai rpm ini terjadi pada semua site. Site C pada semua gambar memiliki nilai rpm yang paling tinggi karena berada pada kecepatan inlet tertinggi yaitu 0.94 m/s. Nilai rpm ini menunjukkan hal yang liner jika dibandingkan dengan pengujian kinerja VAHT-SBC dimana pada inlet tinggi menghasilkan rpm tertinggi begitu pula pada site A dan site B. Pada generator mengalami hal yang sama dengan turbin seperti yang dipaparkan oleh gambar 4.13, 4.15, dan 4.17. Nilai rpm yang menggunakan rasio *pulley* cenderung sesuai. Nilai selisi terbesar terjadi pada rasio *pulley* 1:5 pada site B dimana rpm yang dihasilkan turbin 60.82 sedangkan rpm generator 299.462 dengan nilai selisih 4.637. Tetapi juga terjadi rpm berlebih pada generator dengan selisih terbesar 3.28 dengan perbandingan rasio *pulley* 1:4 pada site A dimana rpm turbin 54.673 dan rpm generator 221.97. Generator yang mengalami penurunan rpm pada setiap penambahan beban karena kinerja turbin yang turun akibat penambahan beban. Hal ini sama seperti ketika generator diberi beban dan dipasangkan oleh motor.

4.3.2 Tegangan Pada Sistem Integrasi

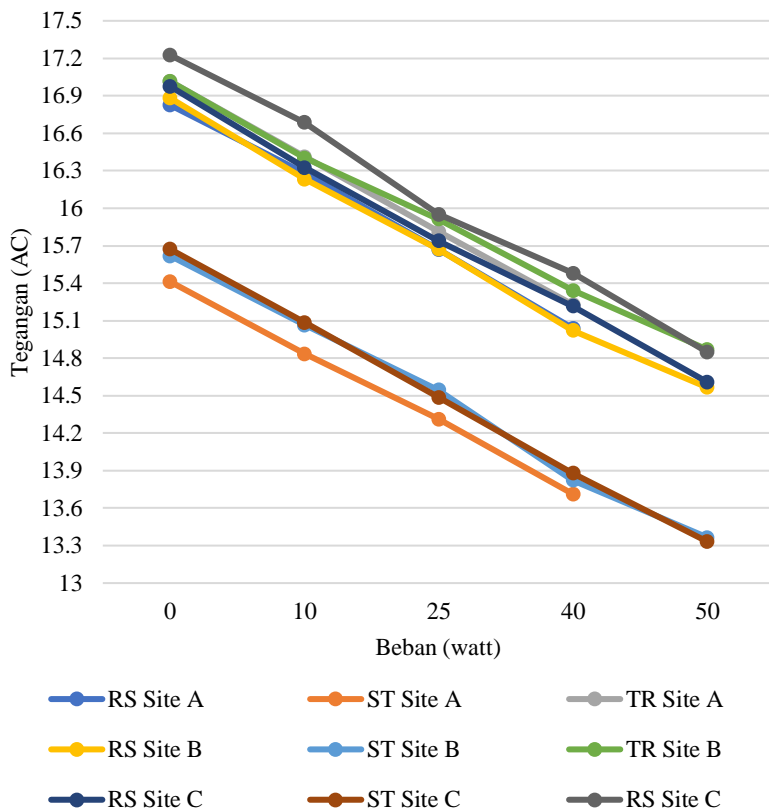
Pada sistem integrasi ini tegangan merupakan bagian dari sistem konverter daya. Hasil dari nilai tegangan didapat dari output generator, output *rectifier* tiga fasa, output regulator tegangan, dan output inverter. Keempat komponen tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda, jika pada generator dan inverter tegangan yang dihasilkan berupa tegangan bolak balik (AC) sedangkan pada *rectifier* tiga fasa dan regulator tegangan menghasilkan tegangan berupa tegangan searah (DC). Eksperimen ini menghasilkan nilai tegangan generator seperti yang telah dipaparkan pada Gambar 4.18, 4.19, dan 4.20.



Gambar 4.19 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



Gambar 4.20 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.

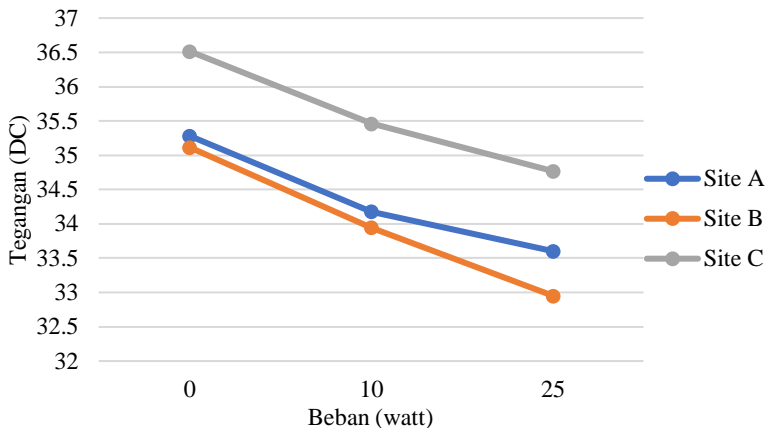


Gambar 4.21 Nilai tegangan output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

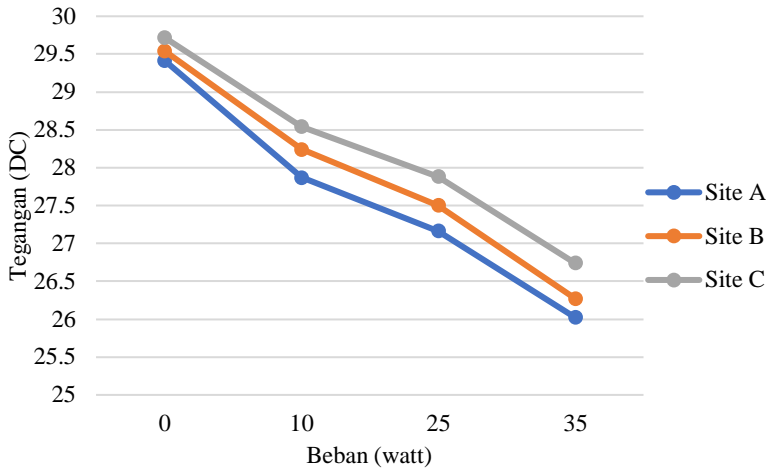
Nilai tegangan pada output generator berbeda beda pada setiap variasi rpm. Pada PSMG yang menggunakan tiga fasa terdapat tiga buah tegangan output yaitu rs, st, dan tr. Grafik yang ditunjukkan oleh kelima gambar memiliki sumbu x sebagai besar beban yang diterima sedangkan pada sumbu y merupakan tegangan yang dihasilkan setelah dikenai beban tersebut. Nilai tegangan generator memiliki pengaruh terhadap rpm, pada Gambar 4.8 memiliki tegangan paling besar karena *pulley* yang digunakan 1:5.

Pada ketiga gambar menunjukkan tegangan terbesar berada pada site C dimana pada site tersebut memiliki kecepatan inlet dan rpm yang besar. Nilai tegangan pada generator juga berubah terhadap pembebanan yang diberikan. Seperti eksperimen generator menggunakan motor, penambahan beban membuat nilai tegangan semakin turun. Penurunan terbesar pada tegangan r_s terjadi pada beban 25 watt menuju ke 40 watt sebesar 0.63 Vac pada site A rasio *pulley* 1:3 dan penurunan tegangan s_t sama pada r_s hanya saja terjadi pada site B yaitu sebesar 0.723 Vac. Penurunan tegangan terbesar t_r terjadi pada beban 10 watt menuju 25 watt dengan *pulley* 1:3 di site C sebesar 0.733Vac.

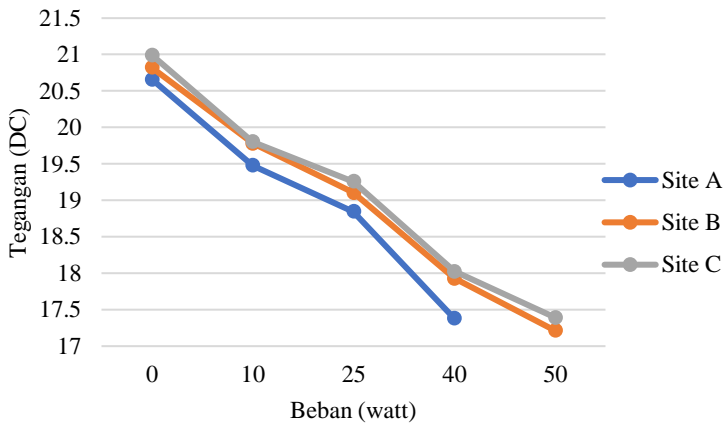
Tegangan pada output *rectifier* tiga fasa memiliki keluar tegangan searah (DC). *Rectifier* ini merubah tegangan pada generator yang semula AC menjadi DC. Pada sistem integrasi ini *rectifier* tepat dipasang setelah generator. Pada eksperimen ini tegangan pada *rectifier* tiga fasa dipengaruhi oleh dua hal. Nilai rpm dan beban yang diberikan terhadap sistem integrasi. Agar mempermudah menganalisa grafik hasil *rectifier* tiga fasa telah dipaparkan pada Gambar 4.21, 4.22, 4.23.



Gambar 4.22 Nilai tegangan output *rectifier* tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



Gambar 4.23 Nilai tegangan output *rectifier* tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.



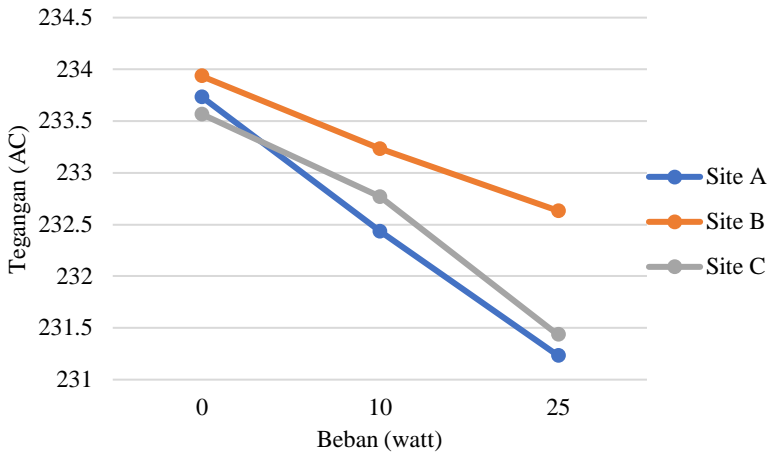
Gambar 4.24 Nilai tegangan output *rectifier* tiga fasa terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

Hasil grafik pada output *rectifier* menghasilkan nilai tegangan DC. Jika pada *pulley* 1:5 (Gambar 4.21) merupakan nilai terbesar tegangan karena rpm turbin berbanding lurus lima kali terhadap putaran generator yang menghasilkan tegangan sebagai input *rectifier*. Dapat dilihat semakin kecil perbandingan *pulley* nilai tegangan semakin kecil, nilai ini linier terhadap eksperimen *rectifier* dengan menggunakan motor. Disisi lain pembebanan juga mempengaruhi nilai tegangan. Tegangan akan turun jika nilai beban bertambah. Pada site dan variasi *pulley* menunjukkan semakin besar jarak perbedaan beban akan menghasilkan selisih tegangan yang besar juga. Perbedaan ini terjadi pada beban 25 watt menuju 40 watt pada *pulley* 1:3 di site A, B, dan C yang selisihnya terbesar dari semuanya sebesar 1.27, 1.18, dan 1.23 Vdc.

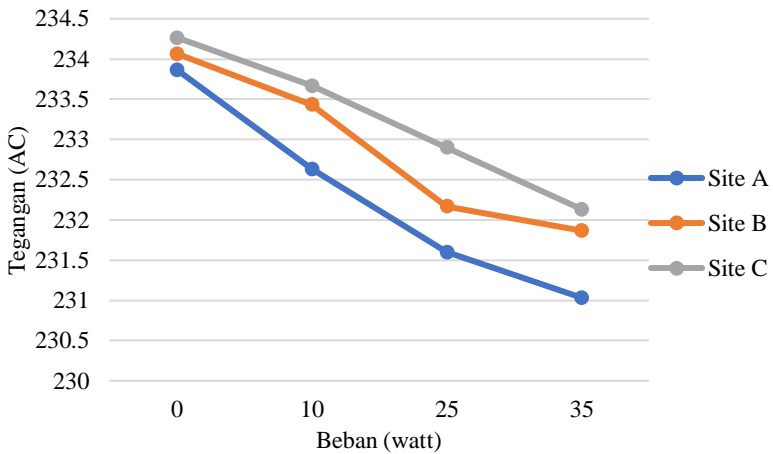
Tegangan yang dihasilkan selanjutnya merupakan tegangan pada regulator tegangan dengan keluaran tegangan DC. Tegangan ini yang pada beban 0 diberikan nilai 14.5 Vdc. Untuk melihat hasil pada setiap variasi *pulley* dan pembebanan dapat dilihat pada LAMIRAN H. Hasil tersebut menunjukkan perubahan rpm tidak menghasilkan perubahan apapun sedangkan pada pembebanan hanya berurung 0.01-0.04 Vdc sangat kecil sekali sehingga tidak mempengaruhi nilai tegangan.

Tegangan pada output inverter merupakan tegangan yang akan langsung digunakan pada beban. Nilai tegangan yang digunakan harus sesuai acuan pada suatu negara agar dapat digunakan. Hasil pengukuran tegangan pada output inverter pada disajikan oleh Gambar 4.24, 4.25, dan 4.26. Pada gambar diketahui sumbu x merupakan besar beban yang diterima dan sumbu y tegangan output inverter yang dihasilkan. Nilai yang dihasilkan oleh inverter berada pada range 231.03-234.26 Vac. Nilai tegangan tersebut sudah dapat digunakan di Indonesia yang memiliki tegangan 220-240 Vac. Ketiga gambar memperlihatkan bahwa nilai rpm tidak mempengaruhi besar kecilnya tegangan melainkan tegangan akan turun jika diberi beban yang besar. Penurunan nilai tegangan ini tidak terlalu besar akibat adanya beban. Pada ketiga

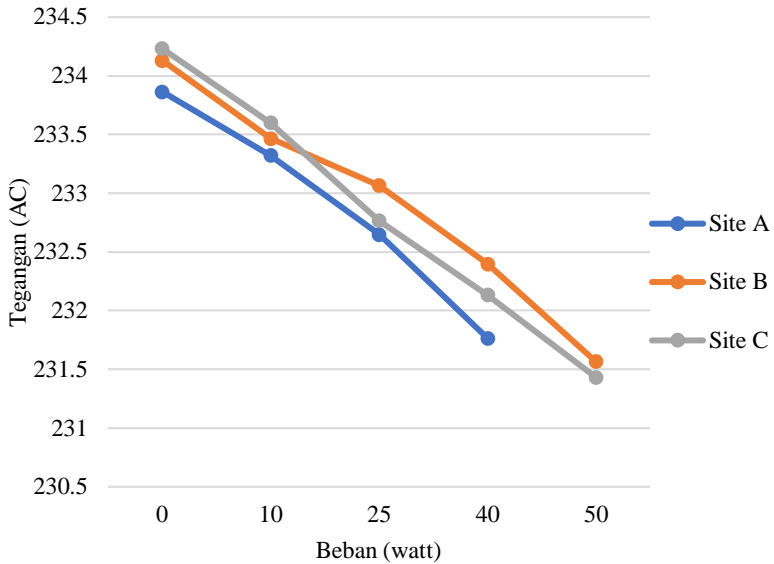
gambar ditunjukkan penurunan terjadi pada setiap pembebanan berkisar 0.4-1.33 Vac.



Gambar 4.25 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



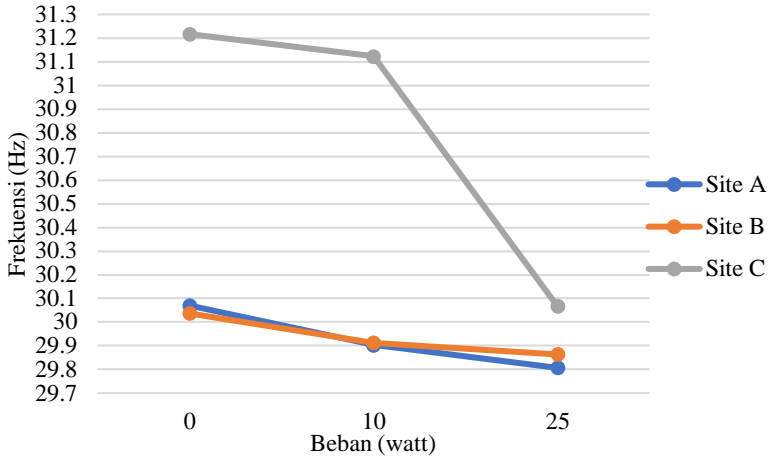
Gambar 4.26 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.



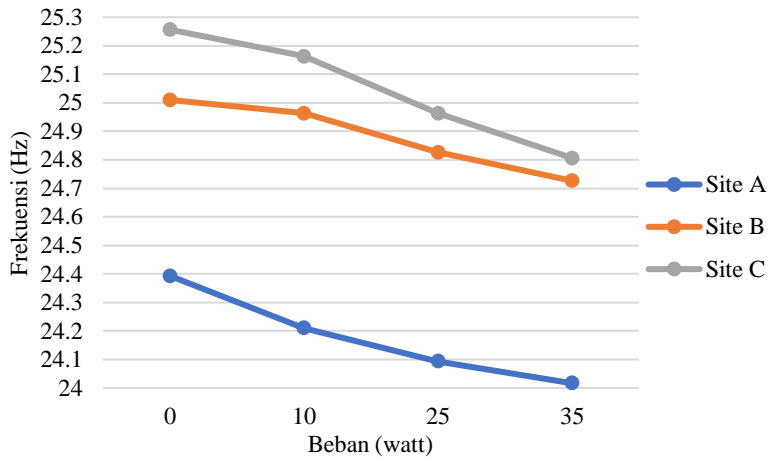
Gambar 4.27 Nilai tegangan pada output inverter terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

4.3.3 Frekuensi Pada Sistem Integrasi

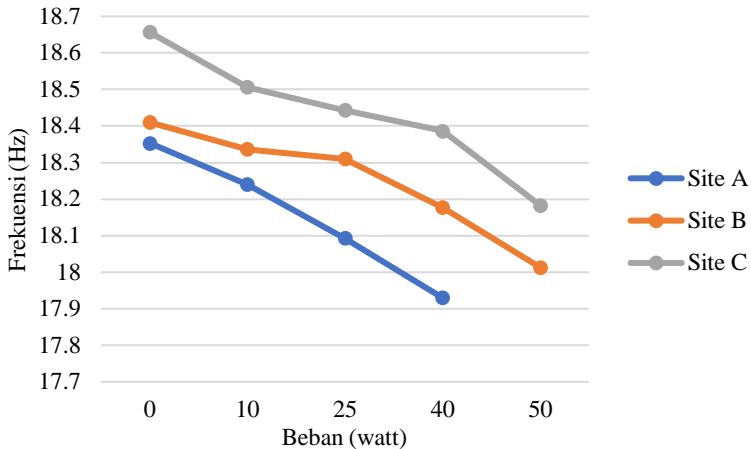
Pada eksperimen sistem integrasi, frekuensi memiliki peranan penting untuk dapat digunakan oleh beban. Frekuensi output generator yang masih tiga fasa ini belum dapat digunakan pada barang elektronik karena belum stabil. Inverter memiliki peran penting untuk menjadikan frekuensi sesuai dengan acuan yang dapat digunakan di negara ini. Frekuensi juga dapat berubah saat diberi beban. Agar mempermudah menganalisa, grafik disajikan pada Gambar 4.25, 4.26, dan 4.27.



Gambar 4.28 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:5.



Gambar 4.29 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:4.



Gambar 4.30 Nilai frekuensi output generator terhadap pembebanan dengan rasio *pulley* 1:3.

Ketiga gambar diatas dengan variasi semua rasio *pulley* menunjukkan grafik yang sama yaitu mengalami penurunan. Nilai frekuensi pada output generator terbesar berada pada site C dengan rasio *pulley* 1:5 sebesar 31.2 Hz dan yang terkecil berada pada site A dengan rasio *pulley* 1:3 sebesar 17.93 Hz. Penambahan nilai beban membuat nilai frekuensi menurun, hal ini juga terjadi pada pengujian generator dan konverter daya. Penurunan frekuensi pada generator sangat kecil, dapat dilihat pada grafik diatas selisih terbesar terjadi pada rasio *pulley* 1: pada site C dari beban sebesar 0 menuju 10 watt dengan selisih yaitu 1.06 Hz. Nilai rpm juga mempengaruhi besar frekuensi yang dihasilkan. Gambar 4.27 menunjukkan bahwa dengan *pulley* 1:3 nilai frekuensi ketiga site bernilai antara 29.8-31.22 Hz, frekuensi naik seiring perubahan *pulley* 1:4 dan 1:5 dengan nilai berturut 24.02-25.26 Hz dan 17.93-18.65 Hz. seperti pada gambar 4.28 dan 4.29.

Pada inverter nilai frekuensi yang dihasilkan dapat dilihat pada LAMPIRAN I. Frekuensi output inverter ini telah dapat digunakan pada elektronik karena memiliki nilai berkisar 56.87-56.98 Hz. Nilai ini cenderung kecil bahkan nilai kenaikan terbesar pada frekuensi output inverter hanya 0.027 Hz. Frekuensi pada

output inverter juga dipengaruhi oleh pembebanan. Nilai frekuensi akan naik jika beban yang diberikan semakin besar. Hal ini berbeda dengan nilai frekuensi output generator yang cenderung turun.

4.3.4 Kemampuan Operasi Kerja Sistem Integrasi

Pada eksperimen sistem integrasi kita dapat ketahui dari hasil pengukuran bahwa potensi terbesar dari turbin ini adalah 50 watt. Nilai tersebut berada pada dua titik lokasi yaitu site B (0.82 m/s) dan site C (0.92 m/s) dengan *pulley* terpasang 1:3. Kemampuan daya terbesar ini juga didukung oleh nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin serta rpm yang dihasilkan generator. Tabel 4.6 menunjukkan daya terbesar yang dihasilkan pada setiap site atau kecepatan inlet

Tabel 4.6 Kemampuan operasi terbesar pada sistem integrasi

Kecepatan Inlet (m/s)	Daya Terpasang (watt)
0.74	40
0.82	50
0.92	50

4.4 Diskusi

Kemampuan turbin dalam menghasilkan energi dipengaruhi oleh berbagai variasi seperti kecepatan inlet, geometri turbin, torsi, dan rpm turbin. Pada VATH-SBC yang dirancang dengan menggunakan 9 *blade* dapat digunakan pada kecepatan inlet yang rendah. Pada eksperimen ini dilakukan pada 3 lokasi yang berbeda kecepatan inletnya menunjukkan bahwa nilai torsi dan rpm linier terhadap kecepatan inletnya yang artinya nilai rpm dan torsi akan naik ketika kecepatan inletnya naik. Nilai torsi yang didapat pada ketiga lokasi memiliki nilai terbesar pada sudut azimuth 0^0 dan 360^0 karena pada sudut tersebut *blade* tepat berada pada inlet aliran. Nilai torsi secara grafik menunjukkan nilai yang naik turbin karena perbedaan tekanan yang diterima pada setiap sudut berbeda. Nilai torsi pada turbin akan mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin. Daya turbin didapat dari hasil perkalian antara rata-rata nilai torsi dikalikan dengan omega yang didapat dari rpm turbin.

Daya turbin dihasilkan linier terhadap kecepatan inlet yang dihasilkan. Daya mekanik dari kecepatan kecil kebesar secara berurutan menghasilkan 154.584, 166.175, dan 174.058 watt. Nilai daya turbin tertinggi berada pada site C dengan kecepatan inlet 0.92 m/s, hal ini membuktikan bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin semakin besar jika rpm dan torsi semakin besar. Daya turbin berbanding terbalik dengan nilai efisiensi yang dihasilkan. Nilai efisiensi ini didapat melalui perbandingan antara daya turbin dengan daya air. Efisiensi yang dihasilkan pada semua lokasi secara berurut yaitu 37.9, 30, dan 22.25. Nilai efisiensi akan semakin turun jika kecepatan inlet bertambah. Penurunan nilai efisiensi ini juga diperkuat oleh penelitian sebelumnya. Jika secara perhitungan nilai efisiensi turun disebabkan kecepatan inlet naik karena nilai daya air semakin besar akibat nilai kecepatan yang berpangkatkan tiga. Data eksperimen ini dapat dilihat bahwa kemampuan daya turbin terbesar hanya 174.058 watt dengan efisiensi 22.25. Hal ini nantinya sebagai penentuan komponen untuk menggunakan sistem konversi daya yang akan dipasang kedalam sistem integrasi.

Eksperimen ini juga menguji karakteristik generator serta konverter daya yang akan digunakan sebagai sistem integrasi. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi rpm kepada generator yaitu 227, 316, 341, 395, dan 493. variasi tersebut didapat dari motor yang dipasangkan *pulley* dengan generator. Pengujian juga diberikan dengan variasi beban yang berangam. Pada setiap rpm, nilai beban yang diberikan berbeda beda karena pengaruh torsi yang dihasilkan oleh motor memiliki kemampuan hingga beban tersebut. Pengaruh ini karena torsi berbanding terbalik dengan perbandingan diameter *pulley* dan rpm. Nilai rpm 493 memang mampu mencapai beban 160 watt karena memiliki diameter terkecil dari semua *pulley* yang ada. Hasil tegangan pada output generator, output *rectifier* tiga fasa, output regulator tegangan, dan output inverter yang dikeluarkan oleh semua variasi *pulley* berbeda-beda. Secara karakteristik generator dan inverter menghasilkan output tegangan bolak-balik (AC) sedangkan pada *rectifier* dan regulator memiliki output tegangan searah (DC). Nilai

tegangan memiliki hubungan yang linier terhadap rpm. Nilai tegangan akan turun ketika diberikan nilai rpm kecil. Akan tetapi hal ini tidak berpengaruh pada tegangan pada output regulator dan inverter karena pada regulator nilai outputan bernilai 14.5 Vdc dan inverter yang cenderung stabil pada 232-233 Vac. Penurunan ini dikarenakan nilai outputan dari tegangan generator yang bersifat permanent magnet atau nilai tegangan ditentukan seberapa besar putaran generator. Selain itu nilai frekuensi pada output generator juga mengalami penurunan ketika nilai rpm yang diberikan pada generator semakin kecil. Hal ini berbeda dengan frekuensi pada inverter yang cenderung stabil pada 56 Hz. Pada kasus pembebanan, beban membuat kinerja generator semakin besar dan berat. Arus yang dibutuhkan akan semakin besar seiring dengan bertambahnya nilai beban. Pada pembebanan nilai tegangan pada semua elemen mengalami penurunan ketika nilai beban ditambah. Akan tetapi penurunan terkecil berada pada regulator tegangan yang hanya 0.01-0.04 Vdc. Penurunan ini dikarenakan naiknya nilai arus untuk menyuplai beban. Pada frekuensi generator juga terjadi penurunan yang sama ketika nilai beban bertambah, akan tetapi hal ini berbanding terbalik dengan frekuensi pada inverter yang naik ketika nilai beban ditambah. Penurunan dan kenaikan frekuensi ini sangatlah kecil.

Eksperimen pada sistem integrasi merupakan upaya agar turbin dapat benar benar menghasilkan daya yang dapat digunakan pada kehidupan sehari-hari. Sistem integrasi ini turbin dipasangkan dengan generator dengan menggunakan transmisi mekanik jenis *belt and pulley*. Transmisi ini terdapat elemen yang menggerakkan dan elemen digerakkan. Turbin yang menggerakkan generator memiliki variasi berbeda pada setiap *pulley*. Pada sistem integrasi menghasilkan nilai linier terhadap eksperimen pengujian sistem konversi daya dari semua aspek yang digunakan. Nilai rpm pada generator cenderung menurun jika diberi beban, hal ini juga mempengaruhi nilai tegangan dan frekuensi pada generator serta inverter. Dilain sisi penambahan beban membuat kinerja turbin menurun sehingga nilai rpm yang diberikan ketika beban bertambah semakin berkurang. Penurunan

kinerja turbin juga disebabkan karena arus yang diberikan ke beban bertambah. Pada sistem integrasi ini didapatkan daya tertinggi dengan kecepatan inlet 0.82 dan 0.92 m/s dengan menggunakan rasio *pulley* 1:3 mampu menghasilkan daya tertinggi yaitu 50 watt. Sedangkan pada rasio *pulley* 1:5 dan 1:4 hanya mampu mencapai 25 watt dan 35 watt. Perbedaan ini disebabkan karena nilai rasio *pulley* berbanding terbalik dengan torsi. Semakin besar nilai *pulley* pada turbin maka semakin kecil torsi yang akan diberikan ke generator.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Turbin yang menggunakan *pulley* berasio 1:5 mampu menghasilkan rpm tertinggi dibanding dengan *pulley* berasio 1:4 dan 1:3 dengan nilai pada ketiga site berturut 301.86, 299.463, dan 312.053. Pada sistem integrasi dengan *pulley* 1:3 merupakan transmisi terbaik diantara ketiganya karena mampu menghasilkan beban terbesar dengan nilai 50 watt.
- b. Pada rpm tertinggi yaitu 493 menghasilkan tegangan dan frekuensi tertinggi pada generator yaitu 45.86 (RS), 42.72 (ST), 46.91 (TR) Vac dan untuk frekuensi 49.26 Hz. Sedangkan pada *rectifier* tertinggi 58.72 Vdc dan terendah 22.78 Vdc. Pada regulator dan inverter kenaikan rpm tidak mempengaruhi nilai. Kondisi pembebanan membuat kinerja menjadi semakin turun. Pada semua bagian mengalami penurunan tegangan ketika diberi beban. Penurunan terbesar pada *rectifier* ketika beban dari 100 menuju 140 watt pada rpm 341 yaitu 5.17 Vdc. Sedangkan penurunan terkecil hanya terdapat pada regulator yaitu 0.02-0.18 Vdc. Frekuensi generator berbanding terbalik dengan frekuensi inverter. Penambahan beban membuat frekuensi generator turun sedangkan pada frekuensi inverter linier terhadap penambahan beban.
- c. Pada site C dengan *pulley* 1:3 jika beban tidak diberikan mampu menghasilkan rpm turbin 63.04 dan ketika beban mencapai 10, 25, 40 dan 50 watt rpm mengalami penurunan berturut 58.693, 55.83, 52.465, dan 50.22. Kinerja dari VAHT-SBC pada sistem integrasi mampu menerima beban mencapai 50 watt.

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran penulis untuk keberlanjutan penelitian yang dilakukan:

- a. Pada pengujian karakteristik generator serta converter daya sebaiknya menggunakan *Variable Speed Drive (VSD)* agar mempermudah kerja dan mengurangi pembuatan *pulley* yang berlebih.
- b. Perlu dilakukan pengujian keandalan turbin agar dapat dilihat kemampuan kerja turbin dan rangkaian konverter daya.
- c. Perlu pembuatan sistem penyimpanan pada baterai agar dapat menjadikan turbin sebagai energi terbarukan yang komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Energi, *BPPT- Outlook Energi Indonesia 2017*. 2017.
- [2] L. L. Ladokun, B. F. Sule, K. R. Ajao, and A. G. Adeogun, "Resource assessment and feasibility study for the generation of hydrokinetic power in the tailwaters of selected hydropower stations in Nigeria," *Water Sci.*, no. 2017, 2018.
- [3] Z. Hu and X. Du, "Reliability analysis for hydrokinetic turbine blades," *Renew. Energy*, vol. 48, pp. 251–262, 2012.
- [4] R. Hantoro and E. Septyaningrum, "Novel Design of a Vertical Axis Hydrokinetic Turbine –Straight-Blade Cascaded (VAHT–SBC): Experimental and Numerical Simulation," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 73–86, 2018.
- [5] N. Yogesh Murthy, "a Review on Power Electronics Application on Wind Turbines," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 02, no. 11, pp. 360–376, 2013.
- [6] A. R. Tiwari, A. J. Shewale, A. R. Gagangras, and N. M. Lokhande, "Comparison of various Wind Turbine Generators," *Multidiscip. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 129–135, 2014.
- [7] P. E. P. E. J. Enis, "Mechatronics , Electrical Power , and Vehicular Technology 500W R ESIDENTIAL W IND G ENERATOR," vol. 03, pp. 95–102, 2012.
- [8] J. A. Baroudi, V. Dinavahi, and A. M. Knight, "A review of power converter topologies for wind generators," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2369–2385, 2007.
- [9] R. Tiwari and N. R. Babu, "Recent developments of control strategies for wind energy conversion system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 268–285, 2016.
- [10] R. Hantoro, I. K. A. P. Utama, and A. Sulisetyono, "An Experimental Investigation of Passive Variable-Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine," vol. 43, no. 1, pp. 27–40, 2011.

- [11] M. J. Khan, G. Bhuyan, M. T. Iqbal, and J. E. Quaiocoe, "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications : A technology status review," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 10, pp. 1823–1835, 2009.
- [12] R. A. Kishore, T. Coudron, and S. Priya, "Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT)," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 116, no. May, pp. 21–31, 2013.
- [13] N. K. Sarma, A. Biswas, and R. D. Misra, "Experimental and computational evaluation of Savonius hydrokinetic turbine for low velocity condition with comparison to Savonius wind turbine at the same input power," *Energy Convers. Manag.*, vol. 83, pp. 88–98, 2014.
- [14] A. M. R. Tovar and Y. Lopez, "Design and Prototype of a Micro Hydrokinetic Vertical Turbine Design and Prototype of a Micro Hydrokinetic Vertical Turbine," no. May, 2017.
- [15] J. José *et al.*, "An Approach for the Dynamic Behavior of Hydrokinetic Turbines," *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 271–276, 2015.
- [16] M. H. Rashid, *9 - Three-Phase Controlled Rectifiers*, 4th ed. Elsevier Inc.
- [17] M. N. Tandjaoui, C. Benachaiba, B. Denai, and Y. Mouloudi, "Characterization and Modeling of Power Electronics Device," vol. 5, no. 2, pp. 135–141, 2014.
- [18] S. Pisharody and V. Vanitha, "DC-DC Chopper Excitation Control of WRSG for MPPT in Offshore Wind Farm," *Procedia Technol.*, vol. 21, pp. 643–650, 2015.
- [19] "Power Electronics Handbook 2nd Edition-MH rashid".
- [20] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D," Bandung, 2006.

LAMPIRAN A

Hasil pengukuran kecepatan inlet dan rpm turbin

Lokasi	Kec. Inlet (m/s)	RPM
Site A	0.7	62.15
	0.8	61.27
	0.8	61.32
	0.7	62.39
	0.7	61.55
Rata-rata	0.74	61.736
Site B	0.8	62.28
	0.8	63.42
	0.9	63.25
	0.8	63.72
	0.8	63.11
Rata-rata	0.82	63.156
Site C	0.9	63.38
	0.9	63.95
	1	64.12
	0.9	63.44
	0.9	63.97
Rata-rata	0.92	63.772

LAMPIRAN B

Hasil pengukuran torsi pada pergeseran sudut *azimuth*

Sudut Azimut (θ^0)	Lokasi (N.m)		
	Site A	Site B	Site C
0	34	35	36
30	23	24	24
60	21	22	23
90	22	24	25
120	33	33	35
150	29	30	30
180	13	15	15
210	15	16	18
240	33	34	35
270	21	23	24
300	13	14	15
330	20	22	23
360	34	35	36
Rata-rata	23.923	25.154	26.077

LAMPIRAN C

Hasil perhitungan daya turbin, daya air dan efisiensi turbin

Pada site A

$$\begin{aligned}P_{air} &= \frac{1}{2}[1000 (2.0096)(0.74)^3] \\ &= 407.17 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pt &= [23.923 \cdot 2\pi \cdot 61.736]/60 \\ &= 154.584 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= [154.584/407.17] \cdot 100\% \\ &= 37.9 \text{ (Nilai Efisiensi)}\end{aligned}$$

Pada site B

$$\begin{aligned}P_{air} &= \frac{1}{2}[1000 (2.0096)(0.82)^3] \\ &= 554.015 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pt &= [25.154 \cdot 2\pi \cdot 63.156]/60 \\ &= 166.275 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= [166.275/554.015] \cdot 100\% \\ &= 30 \text{ (Nilai Efisiensi)}\end{aligned}$$

Pada site C

$$\begin{aligned}P_{air} &= \frac{1}{2}[1000 (2.0096)(0.92)^3] \\ &= 782.426 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Pt &= [26.077 \cdot 2\pi \cdot 63.772]/60 \\ &= 174.058 \text{ watt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\eta &= [174.054/782.426] \cdot 100\% \\ &= 22.25 \text{ (Nilai Efisiensi)}\end{aligned}$$

LAMPIRAN D

Hasil pengukuran rata-rata tegangan pada uji sistem konversi daya

Variasi RPM	Beban (watt)	Tegangan Output Generator (Vac)			Output Rectifier Tiga Fasa (Vdc)	Output Regulator Tegangan (Vdc)	Tegangan Output Inverter (Vac)
		RS	ST	TR			
227.68	0	20.89	19.52	21.05	22.78	14.5	233.5
	10	20.32	18.94	20.44	24.95	14.5	233.5
	25	19.56	18.18	19.65	23.59	14.5	232.9
	40	18.81	17.53	19.04	21.79	14.42	231.1
	60	17.48	16.18	17.97	19.83	14.31	230.7
316.55	0	29.24	27.33	29.36	37.04	14.5	233.8
	10	28.76	26.94	28.97	36.04	14.49	233.1
	25	28.23	26.39	28.56	35.07	14.46	232.4
	40	27.64	25.76	27.94	33.89	14.38	231.7
	60	26.98	25.08	27.28	32.63	14.25	231.1
341.78	100	24.94	23.15	25.46	29.79	14.07	229.4
	0	31.65	29.55	31.78	40.32	14.5	233.7
	10	31.25	29.18	31.46	39.19	14.48	233.4
	25	30.73	28.75	31.08	38.33	14.46	233.2
	40	30.06	28.12	30.42	37.21	14.4	231.2
	60	29.52	27.64	29.87	36.08	14.32	230.8
	100	27.82	26.04	28.38	33.62	14.21	229.7
395.32	140	24.64	23.17	25.09	28.45	14.11	227.9
	0	36.56	34.15	36.75	48.89	14.5	233.8
	10	36.2	33.89	36.45	45.75	14.49	233.1
	25	35.62	33.38	36.15	44.93	14.47	232.6
	40	35.1	32.96	35.58	44.17	14.36	231.7
	60	34.59	32.37	35.14	43.05	14.28	231.2
	100	33.11	31.01	33.68	40.54	14.2	229.8
493.55	140	30.95	29.22	31.8	35.93	14.12	228.1
	0	45.86	42.72	46.91	58.72	14.5	232.6
	10	45.12	42.33	45.45	57.88	14.48	232.6
	25	44.63	41.97	45.12	57.21	14.43	232.2
	40	43.9	41.65	45.05	56.03	14.39	231.4
	60	43.56	40.94	44.2	55.2	14.27	230.7
	100	41.88	39.67	42.77	52.64	14.15	229.4
	140	39.24	37.33	40.11	48.44	14.08	228.2
160	37.43	35.67	38.04	44.34	14.02	227.6	

LAMPIRAN E

Hasil pengukuran rata-rata frekuensi uji sistem konversi daya

Variasi RPM	Beban (watt)	Frekuensi Output Generator (Hz)	Frekuensi Output Inverter (Hz)
227.68	0	22.78	56.88
	10	22.78	56.92
	25	22.62	56.93
	40	22.57	56.95
	60	22.49	56.97
316.55	0	31.67	56.92
	10	31.58	56.94
	25	31.55	56.96
	40	31.44	56.98
	60	31.34	56.98
	100	30.78	56.99
341.78	0	34.19	56.93
	10	34.21	56.94
	25	34.09	56.95
	40	33.97	56.96
	60	33.93	56.95
	100	33.72	56.97
	140	32.59	56.94
395.32	0	39.57	56.83
	10	39.54	56.89
	25	39.41	56.91
	40	39.37	56.92
	60	39.33	56.92
	100	39.23	56.93
	140	38.91	56.95
493.55	0	49.26	56.88
	10	49.15	56.77
	25	49.04	56.8
	40	48.97	56.82
	60	48.78	56.8
	100	48.34	56.81
	140	46.89	56.83
	160	46.22	56.83

LAMPIRAN F

Hasil pengukuran rata-rata kinerja rpm generator uji sistem konverter daya

Variasi RPM	Beban (watt)	RPM Generator Setelah Diberi Beban
227.68	10	227.51
	25	226.98
	40	225.27
	60	224.96
316.55	10	307.12
	25	303.81
	40	297.5
	60	291.45
	100	287.63
341.78	10	339.02
	25	332.91
	40	330.42
	60	320.31
	100	294.65
	140	283.33
395.32	10	390.91
	25	384.75
	40	379.96
	60	369.8
	100	358.12
	140	348.21
493.55	10	492.45
	25	486.67
	40	480.21
	60	476.26
	100	466.86
	140	448.85
	160	446.27

LAMPIRAN G

Hasil pengukuran rpm turbin dan generator pada sistem integrasi dengan *pulley* 1:5

Beban (watt)	Site A		Site B		Site C	
	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator
0	60.31	302.84	60.85	298.14	61.2	313.3
	61.4	301.5	61.3	298.35	63.8	311.12
	60.06	301.24	60.29	301.9	62.58	311.74
Rata-rata	60.59	301.86	60.813	299.463	62.527	312.053
10	57.45	286.5	57.02	287.43	58.92	292.49
	56.9	287.11	57.04	284.78	58.35	291.86
	57.78	287.49	57.3	286.12	58.24	293.2
Rata-rata	57.377	287.033	57.12	286.11	58.503	292.517
25	55.18	277.86	55.44	278.6	55.42	277.48
	54.76	275.21	55.62	276.9	55.8	276.74
	55.29	274.9	55.58	275.87	55.39	276.12
Rata-rata	55.077	275.99	55.547	277.123	55.537	276.78

LAMPIRAN G

Hasil pengukuran rpm turbin dan generator pada sistem integrasi dengan *pulley* 1:4

Beban (watt)	Site A		Site B		Site C	
	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator
0	61.67	243.79	62.53	250.7	63.37	252.35
	61.23	243.52	63.24	251.3	62.84	253.69
	60.17	242.6	63.63	254.26	63.4	253.11
Rata-rata	61.023	243.303	63.133	252.087	63.203	253.05
10	58.13	230.56	58.78	233.65	58.61	233.57
	57.34	232.28	59.19	230.86	58.07	235.39
	57.82	232.9	58.27	232.55	59.36	233.3
Rata-rata	57.763	231.913	58.747	232.353	58.68	234.087
25	55.06	221.45	56.34	224.06	56.22	224.76
	54.67	221.61	55.76	221.57	56.48	225.22
	54.29	222.86	55.27	223.82	55.73	224.04
Rata-rata	54.673	221.973	55.79	223.15	56.143	224.673
35	52.91	211.21	53.66	211.87	53.4	211.98
	53.2	212.47	53.12	213.89	53.18	212.16
	52.3	212.6	52.74	210.69	52.66	212.5
Rata-rata	52.803	212.093	53.173	212.15	53.08	212.213

LAMPIRAN G

Hasil pengukuran rpm turbin dan generator pada sistem integrasi dengan *pulley* 1:3

Beban (watt)	Site A		Site B		Site C	
	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator	RPM Turbin	RPM Generator
0	61.27	181.39	62.11	183.04	63.27	188.37
	60.68	182.33	61.58	184.97	63.84	189.2
	60.51	182.8	62.69	184.88	62.01	188.69
Rata-rata	60.820	182.173	62.127	184.297	63.04	188.753
10	57.84	172.6	57.8	172.01	58.12	176.06
	57.39	173.42	57.39	170.97	59.6	176.85
	57.68	172.37	57.32	171.54	58.36	175.4
Rata-rata	57.637	172.797	57.503	171.507	58.693	176.103
25	55.2	165.89	55.67	164.68	55.48	167.32
	55.48	166.23	55.23	165.96	56.3	167.59
	54.26	167.53	54.78	165.46	55.72	167.04
Rata-rata	54.98	166.55	55.227	165.367	55.83	167.317
40	52.13	155.81	52.06	155.31	52.13	156.32
	52.38	155.32	53.97	155.22	52.6	154.09
	52.72	156.46	52.34	154.88	52.33	154.86
Rata-rata	52.41	155.863	52.79	155.137	52.465	155.09
50			50.1	149.24	50.81	150.36
			50.63	150.38	49.59	150.69
			51.16	150.7	50.27	150.7
Rata-rata			50.63	150.107	50.223	150.58

LAMPIRAN H

Hasil pengukuran tegangan pada sistem integrasi di site A

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Tegangan Generator (Vac)			Output Rectifier Tiga Fasa (Vdc)	Output Regulator Tegangan (Vdc)	Output Tegangan Inverter (Vac)
		RS	ST	TR			
1:5	0	27.22	25.54	28.09	35.45	14.50	233.70
		27.53	26.07	27.42	34.72	14.50	233.70
		27.79	26.65	27.82	35.68	14.50	233.80
	Rerata	27.51	26.09	27.78	35.28	14.50	233.73
	10	27.46	25.59	27.17	33.76	14.49	232.50
		26.73	25.24	27.48	34.20	14.49	232.40
		26.80	25.38	27.03	34.58	14.49	232.40
	Rerata	27.00	25.40	27.23	34.18	14.49	232.43
	25	26.60	24.74	27.40	33.04	14.47	231.20
		26.59	24.32	26.57	34.18	14.46	231.30
		26.22	25.55	26.15	33.59	14.46	231.20
	Rerata	26.47	24.87	26.71	33.60	14.46	231.23
1:4	0	22.39	21.02	23.08	29.01	14.50	233.90
		22.67	20.59	22.38	29.78	14.50	233.90
		22.02	20.28	22.30	29.46	14.50	233.80
	Rerata	22.36	20.63	22.59	29.42	14.50	233.87
	10	22.12	19.56	21.36	28.32	14.49	232.70
		21.46	19.90	22.19	28.20	14.49	232.70
		21.70	20.03	22.27	27.09	14.49	232.50
	Rerata	21.76	19.83	21.94	27.87	14.49	232.63
	25	21.75	19.90	20.87	26.24	14.47	231.60
		20.82	19.48	21.46	27.56	14.46	231.60
		21.19	18.45	21.93	27.70	14.46	231.60
	Rerata	21.25	19.28	21.42	27.17	14.46	231.60
35	20.60	19.05	20.65	25.42	14.43	231.10	
	20.47	18.51	21.13	26.28	14.43	231.00	
	21.05	18.59	20.97	26.37	14.42	231.00	
Rerata	20.71	18.72	20.92	26.02	14.43	231.03	
1:3	0	16.29	15.37	17.30	20.15	14.50	233.90
		17.75	15.05	16.83	20.46	14.50	233.90
		16.44	15.82	16.92	21.37	14.50	233.80
	Rerata	16.83	15.41	17.02	20.66	14.50	233.87
	10	16.27	14.47	16.62	19.25	14.49	233.31
		16.46	15.83	15.77	19.40	14.49	233.33
		16.12	14.21	16.85	19.79	14.49	233.33
	Rerata	16.28	14.84	16.41	19.48	14.49	233.32
	25	15.70	14.78	16.27	18.67	14.46	232.65
		15.36	13.56	15.50	19.38	14.46	232.65
		15.95	14.60	15.67	18.49	14.46	232.65
	Rerata	15.67	14.31	15.81	18.85	14.46	232.65
40	15.08	13.38	15.28	17.72	14.42	231.80	
	14.75	14.27	14.61	17.53	14.42	231.70	
	15.29	13.49	15.80	17.49	14.42	231.80	
Rerata	15.04	13.71	15.23	17.58	14.42	231.77	

LAMPIRAN H

Hasil pengukuran tegangan pada sistem integrasi di site B

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Tegangan Generator (Vac)			Output Rectifier Tiga Fasa (Vdc)	Output Regulator Tegangan (Vdc)	Output Tegangan Inverter (Vac)
		RS	ST	TR			
1:5	0	27.46	25.40	27.56	35.45	14.50	233.90
		26.73	26.32	28.32	34.72	14.50	233.90
		28.59	25.80	27.72	35.18	14.50	234.00
	Rerata	27.59	25.84	27.87	35.12	14.50	233.93
	10	27.26	26.62	27.30	34.80	14.49	233.20
		25.88	24.70	26.43	33.14	14.49	233.20
		27.92	24.43	27.87	33.90	14.49	233.30
	Rerata	27.02	25.25	27.20	33.95	14.49	233.23
	25	26.76	25.80	26.60	32.41	14.70	232.70
		26.80	24.24	26.47	32.98	14.70	232.70
		25.37	24.12	26.78	33.47	14.60	232.50
	Rerata	26.31	24.72	26.62	32.95	14.67	232.63
1:4	0	24.22	21.20	23.17	30.13	14.50	234.00
		23.51	22.86	23.92	29.32	14.50	234.10
		22.12	20.72	23.60	29.18	14.50	234.10
	Rerata	23.28	21.59	23.56	29.54	14.50	234.07
	10	22.34	21.54	23.45	28.97	14.49	233.50
		23.77	21.39	23.08	28.30	14.49	233.40
		22.05	20.10	22.27	27.46	14.49	233.40
	Rerata	22.72	21.01	22.93	28.24	14.49	233.43
	25	22.24	20.23	23.55	27.56	14.46	232.10
		22.70	19.84	22.80	27.71	14.47	232.30
		21.48	20.71	21.12	27.24	14.47	232.10
	Rerata	22.14	20.26	22.49	27.50	14.47	232.17
35	21.08	19.72	21.66	26.57	14.41	231.80	
	22.75	19.59	21.72	26.49	14.41	231.90	
	21.14	19.64	22.15	25.76	14.42	231.90	
Rerata	21.66	19.65	21.84	26.27	14.41	231.87	
1:3	0	17.11	15.31	17.51	21.31	14.50	234.10
		17.30	15.95	17.29	20.86	14.50	234.20
		16.24	15.60	16.25	20.29	14.50	234.10
	Rerata	16.88	15.62	17.02	20.82	14.50	234.13
	10	16.35	15.34	16.16	19.80	14.49	233.50
		15.75	14.76	16.78	19.21	14.48	233.60
		16.60	15.10	16.27	20.34	14.49	233.30
	Rerata	16.23	15.07	16.40	19.78	14.49	233.47
	25	16.29	14.04	16.81	19.20	14.47	233.10
		15.16	14.64	15.58	19.48	14.47	233.10
		15.57	14.96	15.35	18.64	14.47	233.00
	Rerata	15.67	14.55	15.91	19.11	14.47	233.07
	40	15.17	14.26	15.61	17.58	14.42	232.40
		15.30	13.37	15.55	17.80	14.41	232.40
		14.60	13.84	14.87	18.41	14.41	232.40
	Rerata	15.02	13.82	15.34	17.93	14.41	232.40
	50	14.91	13.40	14.57	17.35	14.38	231.50
		14.49	13.62	15.20	16.40	14.39	231.60
14.30		13.08	14.84	17.89	14.39	231.60	
Rerata	14.57	13.37	14.87	17.21	14.39	231.57	

LAMPIRAN H

Hasil pengukuran tegangan pada sistem integrasi di site C

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Tegangan Generator (Vac)			Output Rectifier Tiga Fasa (Vdc)	Output Regulator Tegangan (Vdc)	Output Tegangan Inverter (Vac)
		RS	ST	TR			
1:5	0	28.29	26.88	28.43	36.26	14.50	233.50
		28.15	26.69	28.56	36.80	14.50	233.60
		28.66	26.70	28.67	36.49	14.50	233.60
	Rerata	28.37	26.76	28.55	36.52	14.50	233.57
	10	27.58	26.34	28.41	35.68	14.48	232.80
		27.29	25.80	27.75	35.31	14.48	232.70
		28.34	26.35	27.64	35.40	14.49	232.80
	Rerata	27.74	26.16	27.93	35.46	14.48	232.77
	25	27.06	25.89	27.21	34.90	14.46	231.40
		27.27	25.55	27.67	35.25	14.60	231.50
		27.34	25.42	27.38	34.16	14.60	231.40
	Rerata	27.22	25.62	27.42	34.77	14.55	231.43
1:4	0	23.52	21.21	23.47	30.08	14.50	234.30
		23.01	22.26	23.22	29.36	14.50	234.20
		23.49	21.42	24.15	29.72	14.50	234.30
	Rerata	23.34	21.63	23.61	29.72	14.50	234.27
	10	22.48	20.82	22.49	28.61	14.49	233.60
		23.36	21.50	23.40	28.57	14.49	233.70
		22.70	20.75	23.16	28.35	14.49	233.70
	Rerata	22.85	21.02	23.02	28.51	14.49	233.67
	25	22.39	20.84	22.45	27.36	14.46	232.90
		22.60	20.53	21.95	28.47	14.46	232.90
		22.03	20.26	23.22	27.82	14.47	232.90
	Rerata	22.34	20.54	22.54	27.88	14.46	232.90
35	22.42	19.41	21.94	26.07	14.42	232.20	
	21.23	20.23	21.36	27.80	14.43	232.10	
	21.70	20.50	22.47	26.35	14.42	232.10	
Rerata	21.78	20.05	21.92	26.74	14.42	232.13	
1:3	0	17.31	15.42	17.51	21.89	14.50	234.30
		17.08	15.85	17.60	20.23	14.50	234.20
		16.54	15.75	16.57	20.86	14.50	234.20
	Rerata	16.98	15.67	17.23	20.99	14.50	234.23
	10	16.36	14.80	16.39	19.69	14.49	233.60
		15.75	15.35	17.20	19.45	14.49	233.60
		16.87	15.11	16.47	20.27	14.49	233.60
	Rerata	16.33	15.09	16.69	19.80	14.49	233.60
	25	15.79	14.11	15.63	19.64	14.60	232.90
		15.86	14.83	16.28	18.82	14.60	232.70
		15.57	14.52	15.95	19.31	14.70	232.70
	Rerata	15.74	14.49	15.95	19.26	14.63	232.77
	40	15.41	13.86	15.28	18.56	14.42	232.20
		15.23	14.03	15.85	18.39	14.41	232.10
		15.01	13.75	15.31	17.12	14.41	232.10
	Rerata	15.22	13.88	15.48	18.02	14.41	232.13
	50	14.21	13.11	15.17	17.45	14.32	231.50
		14.49	13.60	14.68	17.83	14.33	231.40
15.13		13.29	14.70	16.90	14.33	231.40	
Rerata	14.61	13.33	14.85	17.39	14.33	231.43	

LAMPIRAN I

Hasil pengukuran frekuensi pada sistem integrasi di site A

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Frekuensi Generator (Hz)	Output Frekuensi Inverter (Hz)
1:5	0	29.66	56.88
		29.82	56.88
		30.73	56.88
	Rerata	30.07	56.88
	10	30.24	56.89
		29.42	56.89
		30.05	56.90
	Rerata	29.90	56.89
	25	29.55	56.91
		30.07	56.91
		29.80	56.91
	Rerata	29.81	56.91
1:4	0	24.48	56.88
		24.29	56.88
		24.41	56.87
	Rerata	24.39	56.88
	10	24.18	56.90
		24.06	56.90
		24.39	56.90
	Rerata	24.21	56.90
	25	24.18	56.91
		23.87	56.91
		24.23	56.91
	Rerata	24.09	56.91
	35	23.58	56.92
		24.67	56.92
		23.80	56.93
Rerata	24.02	56.92	
1:3	0	20.15	56.92
		20.46	56.92
		21.37	56.92
	Rerata	20.66	56.92
	10	19.25	56.95
		19.40	56.94
		19.79	56.94
	Rerata	19.48	56.94
	25	18.67	56.96
		19.38	56.96
		18.49	56.96
	Rerata	18.85	56.96
	40	17.72	56.98
		17.53	56.97
		17.49	56.98
Rerata	17.58	56.98	

LAMPIRAN I

Hasil pengukuran frekuensi pada sistem integrasi di site B

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Frekuensi Generator (Hz)	Output Frekuensi Inverter (Hz)	
1:5	0	29.92	56.91	
		30.48	56.91	
		29.71	56.91	
	Rerata	30.04	56.91	
	10	29.93	56.93	
		30.36	56.93	
		29.45	56.93	
		Rerata	29.91	56.93
	25	29.77	56.96	
		29.88	56.96	
		29.94	56.96	
		Rerata	29.86	56.96
1:4	0	24.52	56.88	
		25.43	56.88	
		25.08	56.88	
	Rerata	25.01	56.88	
	10	25.89	56.89	
		24.72	56.89	
		24.28	56.90	
	Rerata	24.96	56.89	
	25	24.86	56.91	
		24.19	56.91	
		25.43	56.92	
	Rerata	24.83	56.91	
	35	24.25	56.92	
		25.79	56.92	
		24.14	56.93	
	Rerata	24.73	56.92	
	1:3	0	18.64	56.87
			18.79	56.88
17.80			56.89	
Rerata		18.41	56.88	
10		17.62	56.90	
		18.56	56.90	
		18.83	56.90	
Rerata		18.34	56.90	
25		18.29	56.92	
		18.54	56.92	
		18.10	56.92	
Rerata		18.31	56.92	
40		18.32	56.93	
		18.64	56.93	
		17.57	56.93	
Rerata		18.18	56.93	
50		18.25	56.95	
		18.30	56.95	
		17.49	56.95	
Rerata		18.01	56.95	

LAMPIRAN I

Hasil pengukuran frekuensi pada sistem integrasi di site C

Rasio Pulley	Beban (watt)	Output Frekuensi Generator (Hz)	Output Frekuensi Inverter (Hz)
1:5	0	31.20	56.91
		30.71	56.91
		31.74	56.91
	Rerata	31.22	56.91
	10	31.04	56.93
		30.86	56.93
		31.47	56.93
	Rerata	31.12	56.93
	25	29.77	56.94
		29.82	56.94
30.61		56.95	
Rerata	30.07	56.94	
1:4	0	25.04	56.87
		24.95	56.87
		25.78	56.88
	Rerata	25.26	56.87
	10	25.90	56.89
		24.37	56.89
		25.22	56.89
	Rerata	25.16	56.89
	25	24.67	56.90
		25.40	56.90
24.82		56.90	
Rerata	24.96	56.90	
35	24.96	56.92	
	24.35	56.91	
	25.11	56.92	
Rerata	24.81	56.92	
1:3	0	18.26	56.89
		19.23	56.89
		18.48	56.89
	Rerata	18.66	56.89
	10	18.23	56.91
		18.74	56.91
		18.55	56.92
	Rerata	18.51	56.91
	25	18.34	56.93
		18.59	56.93
		18.40	56.93
	Rerata	18.44	56.93
	40	18.28	56.93
		19.11	56.93
		17.77	56.94
	Rerata	18.39	56.93
	50	17.85	56.96
		18.49	56.96
18.21		56.96	
Rerata	18.18	56.96	

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Surabaya, Jawa Timur pada tanggal 8 Mei 1996. Anak kedua dari tiga bersaudara dan berdomisili di Sidoarjo. Penulis merupakan alumni SMA Negeri 21 Surabaya pada tahun ajaran 2011 hingga 2014. Selanjutnya penulis melanjutkan studinya di Departemen Teknik Fisika Prodi S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika bagian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa 2016-2017 dan Persekutuan Mahasiswa Kristen ITS 2016-2017. Pengalaman internship penulis yaitu Internship program di PT. Pembangkit Listrik Jawa Bali UP Muara Karang Blok 1 Jakarta pada bulan Juli-Agustus 2018 dengan judul “*Penerapan Kontrol Tuning PID Sistem Pengendalian Level Pada Condenser*”. Bidang Minat yang difokuskan oleh Penulis adalah di bidang Energi (*Non-Renewable* dan *Renewable*), Konversi Daya, dan Instrumentasi. Penulis berharap semoga dengan adanya buku tugas akhir ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat serta menjadi titik awal mula terciptanya pembangkit listrik tenaga hidrokinetik.

Penulis dapat dihubungi via e-mail di fernando.pnjtn@gmail.com