

LAPORAN AKHIR PENELITIAN



**PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK BERKELANJUTAN 220VAC/50HZ
300W (*FREE ENERGY*)**

Oleh :

Ketua Pelaksana:

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

Anggota Pelaksana:

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

Ahmad Idris (0103517002)

Musawir Muhamad Isa (0103517007)

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

NOVEMBER 2021

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PRIME RESEARCH GRANT

1. Judul Pengabdian Masyarakat : Prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan 220VAC/50hz 300W (*Free Energy*) .
Bidang Ilmu : Teknik Elektro (Mekatronika)
2. Ketua Pelaksana
 - a. Nama lengkap dan gelar : Anwar Mujadin, S.T., M.T.
 - b. Jenis kelamin : Laki-laki
 - c. Golongan/pangkat/NIDN/NIDK/NIP : IIC/Pengatur Muda/12.01.3.1.0213
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor
 - e. Jabatan Struktural : Ka.Lab Teknik Elektro
 - f. Fakultas / Program Studi : FST/Teknik Elektro
3. Jumlah Anggota Pelaksana
 - a. Nama Dosen : Syafitri Jumianto, S.Si, M.Si .
 - b. Jumlah Mahasiswa : 1
 - c. Jumlah Staf : -
 - d. Jumlah Alumni : -
4. Lokasi Penelitian : Lab. Dasar Teknik Elektro (R.612A)
5. Kerja sama dengan Institusi/Mitra
 - a. Nama Institusi/Mitra : -
 - b. Alamat : -
 - c. Telp/fax/E-mail : -
6. Lama Penelitian (dimulai dan diakhiri) : April 2021 - Oktober 2021
7. Biaya yang diajukan
 - a. Sumber dari universitas : Rp. 9.000.000,-
 - b. Sumber lain, sebutkan : -
 - c. Jumlah : -

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UAI


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

Jakarta, 29 November 2021
Ketua Pelaksana


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

Menyetujui,
Kepala LP2M Universitas Al Azhar Indonesia

(Dr. rer. nat. Yunus Effendi, S.Pd., M.Si., M.Sc.)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Khusus Penelitian.....	2
1.4 Manfaat dan Urgensi penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN	
PUSTAKA	3
2.1 Permanen Magnet Generator Alternator	3
2.1.1 Jenis-jenis PMG	3
2.2 AVR Sebagai stabilator	6
2.3 Gearbox Motor DC	7
2.4 Power Supply dengan Travo Step Down	8
2.5 DC-DC Adjustable Step-Down Voltage Regulator Module	9
2.6 Pengendalian Fuzzy Logic.....	10
2.6.1 Konsep Puzzy Logic	10
2.6.2 Arsitektur Puzzy Logic	11
BAB 3 METODE PENELITIAN	13
3.1 Langkah dan Strategi Penelitian.....	13
3.2 Mekanisme Pengumpulan data dan Karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe	14
BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN	15
4.1 Blok Wiring Diagram	15
4.2 Layout Main Board Sistem Kendali.....	16
4.3 Pengembangan prototipe.....	17
4.4 Uji coba pendahuluan.....	17
4.4.1 Karakterisasi Generator Permanan Magnet.....	17
4.4.2 Rectifier 3 Fasa tipe Full Wave.....	18
4.4.3 Karakterisasi DC Motor.....	19
4.4.4 Karakterisasi Gear Box.....	21
4.4.5 Uji Coba Generator Tanpa Kendali.....	21
4.4.6 Uji Coba Generator Dengan Beban.....	23
4.4.7 Perbandingan Jinerja Generator.....	25
4.5 Teknik Pengendaliam.....	26

4.5.1 Fungsi kepemilikan	26
4.5.2 Aturan Kontrol Puzzy	28
4.6 Analisa Kinerja Sistem	30
BAB 5 KESIMPULAN	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN- LAMPIRAN	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PMG excited generator [4].....	4
Gambar 2.2	Produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5].....	5
Gambar 2.3	Circuit diagram dari AVR [6].....	6
Gambar 2.4	gearbox Motor DC 400 rpm [7]	7
Gambar 2.5	Power supply +5V dengan trafo stepdown. [8].....	8
Gambar 2.6	Arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda)dengan ripple filter menggunakan kapasitor. [8].....	8
Gambar 2.7	Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]	9
Gambar 2.8	Arsitektur puzzy logic	11
Gambar.2.9	Diagram alir fuzzy logic	12
Gambar 2.8	Konstruksi sederhana ultra capacitor, sebelum pengisian (kiri) setelah pengisian (kanan) [9].....	10
Gambar 4.1	Blok <i>wiring</i> diagram prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan 12 VAC/50Hz 400W.....	15
Gambar 4.2	Grafik performa generator permanen magnet.....	18
Gambar 4.3	Skematik dioda bridge tipe RM10TB-M.....	19
Gambar 4.4	Spesifikasi teknis motor DC RS-775123000.....	20
Gambar 4.5	Grafik performa DC Motor.....	20
Gambar 4.6	gearbox kecil 3:1 dan internal gearbox.....	21
Gambar 4.7	Karakterisasi dari gearbox (3:1).....	21
Gambar 4.8	Grafik perbandingan RPM dengan tegangan output generator tanpa beban.....	23
Gambar 4.9	Grafik perbandingan RPM dengan tegangan output generator dengan beban.....	24
Gambar 4.10	Grafik perbandingan generator dengan dan tanpa beban	26
Gambar 4.11	Membership function RPM.....	27
Gambar 4.12	Membership function V output.....	27
Gambar 4.13	Membership function I input	27
Gambar 4.14	hubungan antara rpm terhadap penambahan jumlah beban	29
Gambar L.1	Foto-foto pembelian bahan habis pakai	29
Gambar L.2	Foto foto kegiatan	30

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel Hasil pengukuran tegangan antar fasa (500 rpm).....	18
Tabel 4.2	Pengukuran RPM dan tegangan output generator tanpa beban.....	22
Tabel 4.3	Pengukuran RPM dan tegangan output generator dengan beban...	24
Tabel 4.4	Perbandingan generator tanpa beban dan dengan beban.....	25
Tabel 4.5	Aturan fuzzy logic sistem.....	28
Tabel 4.6	Hasil uji coba prototipe.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1	Rangkaian Elektronika pengendali.....	34
Lampiran L.2	Top Overlay PCB	35
Lampiran L.3	Bottom Layer	36
Lampiran L.4	Solder dan Pengawatan Mekanik.....	37
Lampiran L.5	Pengawatan dan perakitan prototipe.....	38
Lampiran L.6	Hasil akhir prototipe	39

RINGKASAN

Saat ini teknis konservasi energi maupun energi energi baru terbarukan (EBT) masih berbasis alam seperti dari: bahan bakar nabati, panas bumi, biomasa, nuklir, air, surya, dan angin padahal di Negara lain telah dikembangkan EBT berbasis magnet. Dipasaran telah dijual divais pembangkit listrik *low rpm* (± 300 rpm) generator yang mampu menghasilkan listrik pada luaran 220VAC/50 Hz dengan rentang daya dari 0.5KW sampai 5MW. Cuma sayang harga divais ini masih tergolong mahal, untuk kapasitas 1KW saja divais ini dibandrol dengan harga \$1800 (± 25 juta). Divais pembangkit listrik *low rpm* generator bisa dibuat dengan cara *me-replace* motor listrik induksi dimana rotor silindrisnya digantikan dengan permanen magnet.

Prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (*free energy*) bebas bahan bakar berbasis magnet diputar menggunakan motor gearbox DC berdaya kecil untuk menggerakkan rotor generator tersebut. Dengan sistem umpanbalik, sebagian kecil energi dari generator digunakan untuk menggerakkan motor gearbox DC, sistem pengendali elektronika dan motor DC.

Pada penelitian ini melalui skema prime research grant (PRG) UAI 2021, telah dibuatkan sebuah prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 12VAC/50Hz/ 400W (*free energy*) bebas bahan bakar berbasis magnet.

Hasil pengukuran performa Nilai tegangan output generator tanpa load pada kecepatan 509 RPM setelah melalui rangkaian rectifier dioda bridge secara matematis setara dengan $3/\pi$ tegangan fasa ke fasa yaitu 14,094 V. Dengan mempertimbangkan power loss yang terjadi saat arus melalui rangkaian dioda bridge, nilai aktual pengukuran akan menjadi lebih kecil. Saat kondisi generator tidak terhubung dengan beban, kenaikan 1 rpm akan menaikkan tegangan output sebesar 247 mV. Di sisi lain, saat generator terhubung dengan beban sebesar 60W, perbandingan kenaikan rpm dengan kenaikan tegangan output adalah 236 mV. Terdapat perbedaan relatif tegangan output antara kondisi terhubung dan tanpa load sebesar 3,51 %. Menggunakan pengendalian Puzzy dibuktikan bahwa, dengan penggunaan daya sebesar 45% dari kapasitas maksimum daya generator. Sistem berjalan seimbang dan generator tidak menimbulkan desipasi panas berlebih (aman).

Prototipe bisa diproduksi massal (scaleup) dengan harga terjangkau baik oleh masyarakat maupun pihak pemerintah sebagai divais penghasil listrik mandiri. Luaran dari kegiatan ini terdiri dari kekayaan intelektual (KI) dan jurnal penelitian bereputasi.

Kata Kunci : Pembangkit listrik berkelanjutan free energy

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar diantaranya, mini/micro hydro sebesar 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m²/hari, energi angin 3-6 m/det dan energi nuklir 3 GW. Data potensi EBT terbaru disampaikan Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi dalam acara “Focus Group Discussion tentang Supply-Demand Energi Baru Terbarukan” yang belum lama ini diselenggarakan Pusdatin ESDM.

Saat ini pengembangan EBT mengacu kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres disebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%.

Untuk mendukung upaya dan program pengembangan EBT, pemerintah sudah menerbitkan serangkaian kebijakan dan regulasi yang mencakup Peraturan Presiden No. 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Undang-Undang No. 30/2007 tentang Energi, Undang-undang No. 15/1985 tentang Ketenagalistrikan, dan Kepmen ESDM No.1122K/30/MEM/2002 tentang Pembangkit Skala Kecil tersebar. Dari permasalahan tersebut, menyadari penuntasan masuknya listrik ke berbagai wilayah sangat krusial untuk mengangkat harkat penduduk daerah tersebut. Karena selain dapat mendorong peningkatan kualitas hidup masyarakat, juga sangat diperlukan untuk perkembangan berbagai usaha yang menopang kehidupan [1].

Saat ini pemerintah masih berfokus pada pengembangan EBT berbasis alam, padahal di daratan Eropa bahkan Turki telah dikembangkan EBT berbasis magnet. Pada penelitian ini melalui skema *prime research grant* (PRG) UAI 2021, akan dibuatkan sebuah prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (*free energy*) bebas bahan bakar berbasis magnet, sebagai pengembangan penelitian PRG UAI 2019 yang berjudul “Generator Listrik Tanpa Bahan Bakar Berbasis Energi Rotasi Roda Gila”.

1.2. Perumusan Masalah

Saat ini teknis konservasi energi maupun energi energi baru terbarukan (EBT) masih berbasis alam seperti dari: bahan bakar nabati, panas bumi, biomasa, nuklir, air, surya, dan angin padahal di Negara lain telah dikembangkan EBT berbasis magnet.

Dipasaran telah dijual divais pembangkit *listrik low rpm* (± 300 rpm) generator yang mampu menghasilkan listrik pada luaran 220VAC/50 Hz dengan rentang daya dari 0.5KW sampai 5MW. Cuma sayang harga divais ini masih tergolong mahal, untuk kapasitas 1KW saja divais ini dibandrol dengan harga \$1800 (± 25 juta). Divais pembangkit listrik *low rpm* generator bisa dibuat dengan cara *me-replace* motor listrik induksi dimana rotor silindrisnya digantikan dengan permanen magnet.

Prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (*free energy*) bebas bahan bakar berbasis magnet diputar menggunakan motor gearbox DC berdaya kecil untuk menggerakkan rotor generator tersebut. Dengan sistem umpanbalik, sebagian kecil energi dari generator digunakan untuk menggerakkan motor gearbox DC, sistem pengendali elektronika dan *automatic voltage regulator* (AVR).

1.3. Tujuan khusus Penelitian

Tujuan penelitian adalah membuat Prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (*free energy*) mampu bekerja secara *standalone* kontinyu tanpa bahan bakar dan tanpa pendukung mekanik lainnya. Prototipe memiliki efisiensi diatas 90% dan *coeficient of performance* diatas 10. Prototip mampu menggantikan sistem generator micro hydro atau turbin angin skala kecil tanpa penambahan pengawatan dan bangunan sipil.

1.4. Manfaat dan urgensi penelitian

Manfaat hasil penelitian dari prototipe pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (*free energy*) mampu dimplementasikan secara luas untuk kebutuhan listrik daerah pedalaman wilayah Indonesia yang belum tersinggung pasokan listrik. Sehingga urgensi penelitian ini menjadi tolok ukur membantu pihak pemerintah akan kelangsungan energi terbarukan yang kontinyu.

BAB 2

TINJAUN PUSTAKA

2.1 Permanen Magnet Generator Alternator

Permanent magnet generator (PMG) adalah pembangkit listrik dengan Magnet permanen.

PMG memiliki fungsi sebagai pembangkit listrik untuk sistem eksitasi pada sebuah Generator listrik AC 3 fase. PMG terdiri dari [2] :

- a. Rotor. Rotor adalah bagian yang berputar dan merupakan magnet permanen yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet.
- b. Stator. Stator berupa Gulungan yang tidak berputar (tetap). Gulungan PMG Stator akan menerima medan magnet yang berputar yang dihasilkan PMG Rotor. Melalui proses berputarnya medan magnet (PMG Rotor) yang diterima Gulungan PMG Stator, maka pada ujung-ujung gulungan PMG Stator akan menghasilkan listrik.

2.1.1 Jenis-Jenis PMG

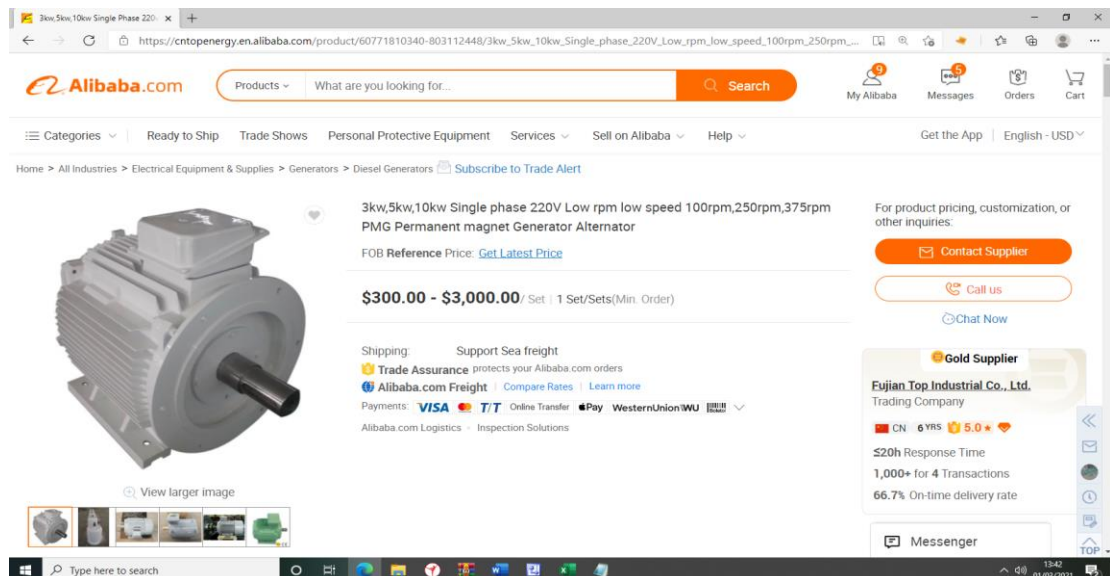
PMG terdiri dari 3 jenis yaitu [3] :

- a. PMG-excited generators. Prinsip kerja dari PMG excited generator

PMG Rotor ikut berputar saat mesin penggerak generator dioperasikan. Medan magnet dari PMG Rotor yang berputar kemudian diterima oleh gulungan pada PMG Stator. Karena medan magnet yang dihasilkan, PMG Rotor memotong penghantar pada gulungan PMG stator, maka akan menghasilkan tegangan listrik pada ujung gulungan PMG stator. Listrik yang dihasilkan PMG Stator adalah Listrik arus bolak-balik (AC) 3 fase dengan besar tegangan berkisar antara 150VAC – 180VAC. Lalu tegangan yang dihasilkan PMG Stator dialirkan ke *automatic voltage regulator* (AVR).

Terminal kabel gulungan PMG stator pada AVR biasanya disimbolkan dengan huruf P2, P3, P4. Tegangan listrik AC dari PMG Stator kemudian diubah atau disearahkan menjadi tegangan listrik DC oleh AVR. Besar tegangan dari PMG Stator yang awalnya 150VAC – 180VAC, kemudian disearahkan dan besar tegangannya juga diturunkan oleh AVR, Tegangannya menjadi berkisar antara 13VDC – 60VDC.

- b. Self excited generator. AVR menerima tegangan keluaran dari gulungan utama generator, dan digunakan sebagai suplai untuk dikirimkan ke gulungan exciter. Selain itu Tegangan yang diterima AVR dari gulungan utama digunakan sebagai Sensing atau Sensor. seberapa besar tegangan yang dihasilkan oleh generator tersebut. Besarnya tegangan yang dikirimkan AVR ke gulungan exciter disesuaikan dengan tegangan keluaran generator yang diterima (sensing) AVR dari Gulungan utama Generator (Output Voltage). Jika tegangan keluaran yang dihasilkan Generator kurang dari tegangan yang diinginkan, maka AVR akan mengirimkan tegangan yang lebih ke gulungan exciter, lalu AVR akan mengurangi suplai tegangan ke gulungan exciter jika tegangan yang disensornya dari gulungan utama Generator sudah mencapai nilai tegangan yang diinginkan. “Semakin tinggi tegangan yang dikirimkan ke gulungan exciter, akan semakin besar tegangan keluaran (output Voltage) dari generator tersebut.
- c. Non excited generator. Generator ini tidak memerlukan exciter. Coil stator akan langsung menerima fluk magnet dari rotor PMG . Tegangan coil dari stator adalah tegangan AC. Generator ini dikenal dengan low rpm speed PMG generator alternator. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5]



Gambar 2.2 Produk dari single phase 220V low rpm PMG permanent magnet generator alternator [5].

2.2 AVR Sebagai stabilator

AVR juga berfungsi sebagai pengatur tegangan jatuh (Droop Voltage) pada Generator yang dioperasikan secara paralel. Generator yang dioperasikan secara paralel harus memiliki besar tegangan yang sama antara masing-masing Generator yang diparalelkan tersebut. Namun ada kalanya saat beban yang diterima mengalami lonjakan, atau terjadi beban / Arus yang tiba-tiba naik secara mendadak, akan menyebabkan tegangan dari generator akan jatuh (Droop Voltage). Ketidak seimbangan beban akan menyebabkan Generator yang menanggung beban arus lebih tinggi akan mengalami Over load (Kelebihan beban) dan trip. AVR akan mendeteksi terjadinya tegangan jatuh (Droop Voltage) dan tetap menjaga kondisi tegangan masing – masing Generator tetap stabil, meski mengalami lonjakan arus atau beban yang mendadak. Dalam mendeteksi Droop Voltage, AVR dilengkapi dengan sistem atau alat yang disebut dengan Droop kit (Droop CT). Droop kit terpasang pada kabel keluaran dari gulungan utama generator, untuk sensor beban atau Ampere yang melewati kabel gulungan utama tersebut. Pada Gambar 2.3 diperlihatkan circuit diagram dari AVR [6].



Gambar 2.3 Circuit diagram dari AVR [6].

2.3 Gearbox Motor DC

GearBox adalah salah satu komponen atau suatu alat khusus yang diperlukan untuk menyesuaikan daya atau torsi (moment/daya) dari putaran motor. Keluaran dari gearbox ini menghasilkan tenaga yang lebih besar sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan. Tenaga yang besar tadi kemudian dapat disalurkan ke aplikasi lainnya baik berupa perubahan translasi maupun rotasi. Pada penelitian ini Gearbox motor DC digunakan sebagai penggerak rotasi rotor generator yang berputar pada kecepatan 300-400 rpm. Gearbox motor dipilih yang memiliki torsi 6,5kg/cm. Pada Gambar 2.4 diperlihatkan gearbox Motor DC 400 rpm. [7].



Gambar 2.4 diperlihatkan gearbox Motor DC 400 rpm [7]

Umumnya motor DC berputar dengan kecepatan 10000 rpm. Dengan menggunakan rangkaian gearbox kecepatan putar tersebut dapat diturunkan dengan perbandingan 1:21. Sehingga semula putarannya 10000 rpm melalui gearbox putarannya menjadi ± 400 rpm. Kecepatan 400rpm tadi dinaikan torsi menjadi 6,5kg/cm. Torsi dengan 6,5kg/cm mampu memutar rotor silindris permanen magnet generator.

Gearbox Motor DC 400RPM (Geared Motor 12VDC 400RPM)

Spesifikasi :

Kecepatan : 400rpm

Tegangan : 12V

Perbandingan gear : 1:21

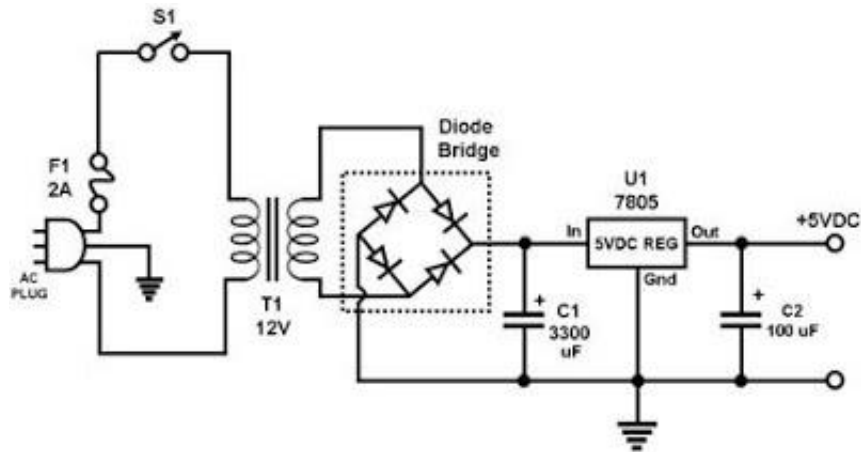
Torsi : 6,5kgcm

Dapat dioperasikan mulai tegangan 3V – 12V

Data terukur saat dioperasikan pada tegangan 12V

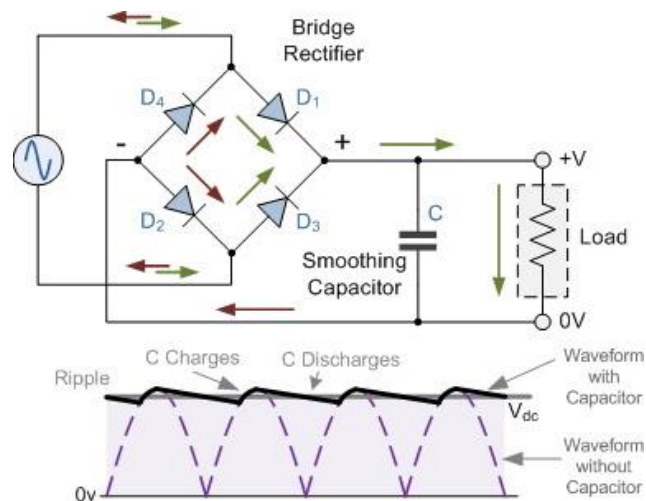
2.4 Power Supply dengan Travo Step Down

Power Supply dengan transformator step down adalah power supply yang dibuat dengan menggunakan cara kerja transformator Stepdown atau Trafo penurun tegangan, yakni tegangan dari 220VAC diturunkan menjadi tegangan tertentu, kemudian di ubah menjadi tegangan searah (DC) menggunakan beberapa komponen penyearah seperti diode dan kapasitor. Pada Gambar 2.5 diperlihatkan power supply +5V dengan trafo stepdown.



Gambar 2.5 Power supply +5V dengan trafo stepdown. [8].

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda) berikut dengan ripple filter menggunakan kapasitor.



Gambar 2.6 Arus dan tegangan pada power supply gelombang penuh (4 dioda) dengan ripple filter menggunakan kapasitor. [8]

2.5 DC-DC Adjustable Step-Down Voltage Regulator Module

Modul konverter DC-DC kompak ini adalah untuk menurunkan tegangan DC tinggi ke tegangan lebih rendah. Modul ini menggunakan IC buck konverter LM2596, yang bekerja hingga arus hingga 2A (dengan heatsink) dan memiliki efisiensi hingga 92%. Keluaran dari modul ini dapat diatur dari tegangan antara 1.5V-35VDC dengan tegangan masukan kisaran dari 4.5V-40VDC. Cukup dengan memutar trimpot, tegangan keluaran bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada Gambar 2.7 diperlihatkan Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]



Gambar 2.7 Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator [9]

Spesifikasi teknis dari Modul LM2506 DC-DC adjustable step-down voltage regulator antara lain:

Input Voltage: 4.5-40 VDC

Output Voltage: 1.5-35 VDC

Voltage Differential Required: Output Current: 2A, 3A with external heatsink or cooling

Full load temperature rise: 40°C

Voltage Regulation +/- 0.5%

Dynamic Response Speed: 5% 200µs

Efficiency: up to 92% (at 40VDC input, efficiency reduces as input voltage drops)

Switching Frequency: 150kHz

Non-Isolated, Bucking Step-Down design

Current-Limited / Over-Current Protection

Operating Temperature Range: -40°C ~ +85°C

2.6 Pengendalian dengan Puzzy Logic

Fuzzy Logic adalah suatu cabang ilmu *Artificial Intellegence*, yaitu suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan komputer dapat melakukan hal-hal yang apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan.

Dengan kata lain *fuzzy logic* mempunyai fungsi untuk “meniru” kecerdasan yang dimiliki manusia untuk melakukan sesuatu dan mengimplementasikannya ke suatu perangkat, misalnya robot, kendaraan, peralatan rumah tangga, dan lain-lain.

2.6.1 Konsep *Fuzzy Logic*

Konsep *Fuzzy Logic* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada 1965 dan dipresentasikan bukan sebagai suatu metodologi kontrol, tetapi sebagai suatu cara pemrosesan data dengan memperkenankan penggunaan *partial set membership* dibanding *crisp set membership* atau *non-membership*. Pendekatan pada set teori ini tidak diaplikasikan pada sistem kontrol sampai tahun 70-an karena kemampuan komputer yang tidak cukup pada saat itu. Profesor Zadeh berpikir bahwa orang tidak membutuhkan kepastian, masukan informasi numerik, dan belum mampu terhadap kontrol adaptif yang tinggi.

Konsep *fuzzy logic* kemudian berhasil diaplikasikan dalam bidang kontrol oleh E.H. Mamdani. Sejak saat itu aplikasi *fuzzy* berkembang kian pesat. Di tahun 1980-an negara Jepang dan negara-negara di Eropa secara agresif membangun produk nyata sehubungan dengan konsep *fuzzy logic* yang diintegrasikan dalam produk-produk kebutuhan rumah tangga seperti *vacuum cleaner*, *microwave oven* dan kamera video. Sementara pengusaha di Amerika Serikat tidak secepat itu mencakup teknologi ini. *Fuzzy logic* berkembang pesat selama beberapa tahun terakhir. Terdapat lebih dari dua ribu produk dipasaran yang menggunakan konsep *fuzzy logic*, mulai dari mesin cuci hingga kereta berkecepatan tinggi. Setiap aplikasi tentunya menyadari beberapa keuntungan dari *fuzzy logic* seperti performa, kesederhaan, biaya rendah dan produktifitasnya.

Konsep *Fuzzy Logic*

- *Fuzzy logic* umumnya diterapkan pada masalahmasalah yang mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), ketidaktepatan (*imprecise*), *noisy*, dan sebagainya.

- *Fuzzy logic* menjembatani bahasa mesin yang presisi dengan bahasa manusia yang menekankan pada makna atau arti (*significance*).
- *Fuzzy logic* dikembangkan berdasarkan cara berfikir manusia

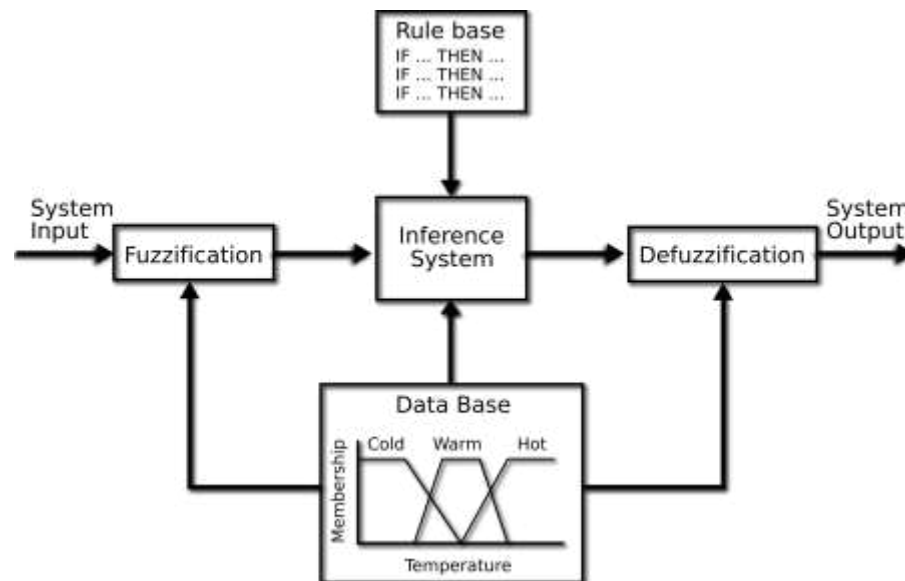
Contoh-contoh masalah yang mengandung ketidakpastian

Contoh 1 : Seseorang dikatakan “tinggi” jika tinggi badannya lebih dari 1,7 meter. Bagaimana dengan orang yang mempunyai tinggi badan 1,6999 meter atau 1,65 meter, apakah termasuk kategori orang yang tinggi? Menurut persepsi manusia, orang yang mempunyai tinggi badan sekitar 1,7 meter dikatakan “kurang lebih tinggi” atau “agak tinggi”.

Contoh 2 : Kecepatan “pelan” didefinisikan di bawah 20 km/jam. Bagaimana dengan kecepatan 20,001 km/jam, apakah masih dapat dikatakan pelan? Manusia mungkin mengatakan bahwa kecepatan 20,001 km/jam itu “agak pelan”.

2.6.1 Arsitektur *Fuzzy Logic*

Pada Gambar 2.8 diperlihatkan arsitektur fuzzy logic

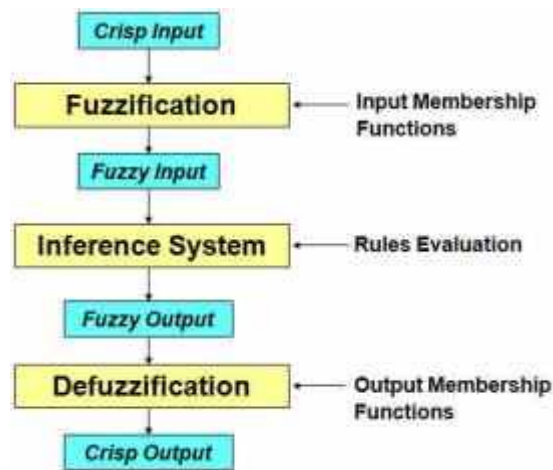


Gambar 2.8 Arsitektur fuzzy logic

Ada tiga proses utama jika ingin mengimplementasikan *fuzzy logic* pada suatu perangkat, yaitu fuzzifikasi, evaluasi *rule*, dan defuzzifikasi.

1. **Fuzzification**, merupakan suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi *fuzzy* yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing.
2. **Interference System (Evaluasi Rule)**, merupakan sebagai acuan untuk menjelaskan hubungan antara variable-variabel masukan dan keluaran yang mana variabel yang diproses dan yang dihasilkan berbentuk *fuzzy*. Untuk menjelaskan hubungan antara masukan dan keluaran biasanya menggunakan “IF-THEN”.
3. **Defuzzification**, merupakan proses perubahan variabel berbentuk *fuzzy* tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian.

Pada Gambar 2.9 diperlihatkan diagram alir puzzy logic



Gambar 2.9 diperlihatkan diagram alir puzzy logic

BAB 3

METODE PENELITIAN

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

3.1 Langkah dan strategi penelitian

Langkah dan strategi penelitian antara lain:

a. Pencarian Referensi

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

b. Waktu dan tempat penelitian.

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

c. Model pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (free energy).

3.2 Mekanisme pengumpulan data dan karakterisasi dan Kalibrasi Prototipe

Pengumpulan data akan dilakukan sepenuhnya melalui hasil eksperimen. Pengambilan data hasil karakterisasi pembangkit listrik berkelanjutan 220VAC/50Hz 300W (free energy) antara lain:

a. Kalibrasi rpm rotor generator terhadap tegangan keluaran. Tanpa beban dan dengan beban

b. Karakterisasi tegangan dan daya keluaran generator pada variasi beban.

c. Karakterisasi *daya* generator pada beban reaktif.

d. Karakterisasi sistem Puzzy Logic pengendalian *speed controller* gearbox DC motor. Pengukuran Kecepatan sudut rotor generator terhadap tegangan keluaran generator.

e. Menghitung efisiensi generator.

- f. Pengujian rugi-rugi daya dan efisiensi dari generator terhadap variasi beban reaktif.

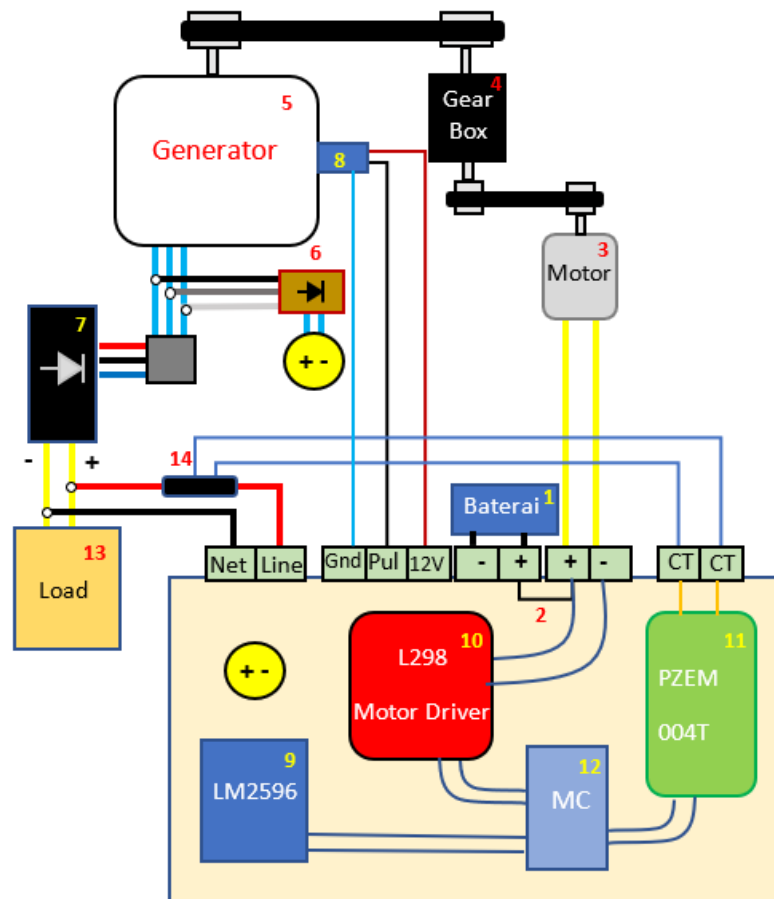
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang bangun “Prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan 12 VAC/50 Hz 400W” dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

4.1 Blok Wiring Diagram

Konsep pertama kali rancang bangun sebuah prototipe adalah menuangkan ide ke dalam bentuk diagram blok. Dari diagram blok dapat ditentukan berbagai macam parameter seperti : prinsip kerja rangkaian, komponen penunjang, spesifikasi teknis, fitur, estimasi biaya, dan lain sebagainya. Adapun diagram blok dari “Prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan 12 V AC/50Hz 400W” diperlihatkan pada Gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 Blok *wiring* diagram prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan
12 VAC/50Hz 400W

Prinsip kerja prototipe dijelaskan sebagai berikut :

1. Motor DC⁽³⁾ diinjeksi tenaga awal dengan menghidupkan switch⁽²⁾ yang terhubung ke baterai⁽¹⁾.
2. Putaran motor DC⁽³⁾ terhubung dengan gearbox⁽⁴⁾ yang berfungsi untuk menurunkan RPM dengan perbandingan 3 : 1.
3. Rotor pada generator⁽⁵⁾ akan berputar karena terhubung dengan gearbox⁽⁴⁾. Putaran pada rotor akan menghasilkan daya listrik dengan tipe arus bolak balik 3 fasa.
4. Listrik keluaran generator dihubungkan ke rangkaian rectifier kecil⁽⁶⁾ dan jembatan dioda⁽⁷⁾ yang masing masing membatasi arus keluar sebesar 5 Ampere untuk main board dan 20 Ampere untuk beban⁽¹³⁾.
5. Kecepatan putaran rotor generator dipantau menggunakan proximity sensor⁽⁸⁾.
6. Listrik keluaran rangkaian rectifier kecil⁽⁶⁾ digunakan untuk menyuplai daya ke DC-to-DC bulk converter LM2596⁽⁹⁾, motor driver L298⁽¹⁰⁾, dan sensor arus tegangan PZEM 004T⁽¹¹⁾.
7. Microcontroller⁽¹²⁾ mendapatkan suplai daya melalui tegangan sebesar 5 V yang telah melalui LM2596⁽⁹⁾.
8. Jika terjadi perubahan pada Load⁽¹³⁾, CT⁽¹⁴⁾ akan membaca perubahan tersebut dan mengirimkan input data ke PZEM 004T⁽¹¹⁾. Perubahan Load yang berupa penambahan beban akan membuat kecepatan rotor generator⁽⁵⁾ berkurang.
9. Perubahan arus tegangan pada Line Load serta perubahan kecepatan generator masing masing akan diinput datanya ke Microcontroller⁽¹²⁾ melalui PZEM 004T⁽¹¹⁾ dan proximity sensor⁽⁸⁾.
10. Microcontroller menggunakan FLC yang telah dipersiapkan akan memberikan input data ke L298⁽¹¹⁾ agar melakukan injeksi arus ke motor DC⁽³⁾.
11. Motor DC⁽³⁾ yang telah diinjeksi akan menaikkan putaran rotornya yang mengakibatkan putaran rotor generator⁽⁵⁾ kembali naik juga.
12. Sistem akan bekerja secara kontinu dengan tujuan menjaga putaran rotor pada generator⁽⁵⁾ agar tetap stabil.

4.2 Layout Main Board Sistem Kendali

Mainboard dibuat dari rangkaian modular elektronik yang dijual dipasaran, kemudian dibuatkan interkoneksi-nya menggunakan PCB.

Pada Lampiran L.1, L.2 dan L.3 diperlihatkan secara berturut turut layout diagram elektronc circuit, top overlay printed circuit board (PCB), dan bottom layer PCB.

Pada lampiran L.4, L.5, dan L.6 diperlihatkan berturut-turut kegiatan solder-bengkel mekanik, pengawatan-perakitan prototipe dan ghasil akhir prototipe.

4.3 Pengembangan Prototip

Prototip dikembangkan menggunakan generator permanen magnet dengan spesifikasi yang akan diterangkan lebih lanjut sebagai komponen utama sekaligus produsen daya. Komponen utama lainnya adalah DC Motor sebagai produsen daya, dan Microcontroller sebagai pengendali keberlangsungan berjalannya sistem. Produksi daya maksimum generator adalah 400 W, namun tidak semua daya tersebut dapat digunakan dalam *closed loop* sistem. Sebagian daya produksi digunakan untuk menghidupkan *main board control system*, sbagian daya akan diserap oleh mainboard dan motor DC penggerak dan sebagian lagi akan disalurkan ke beban. Perbandingan antara daya yang diserap oleh main board_motor dan beban akan menjadi perhitungan efisiensi dari sistem.

4.4. Uji Coba Pendahuluan

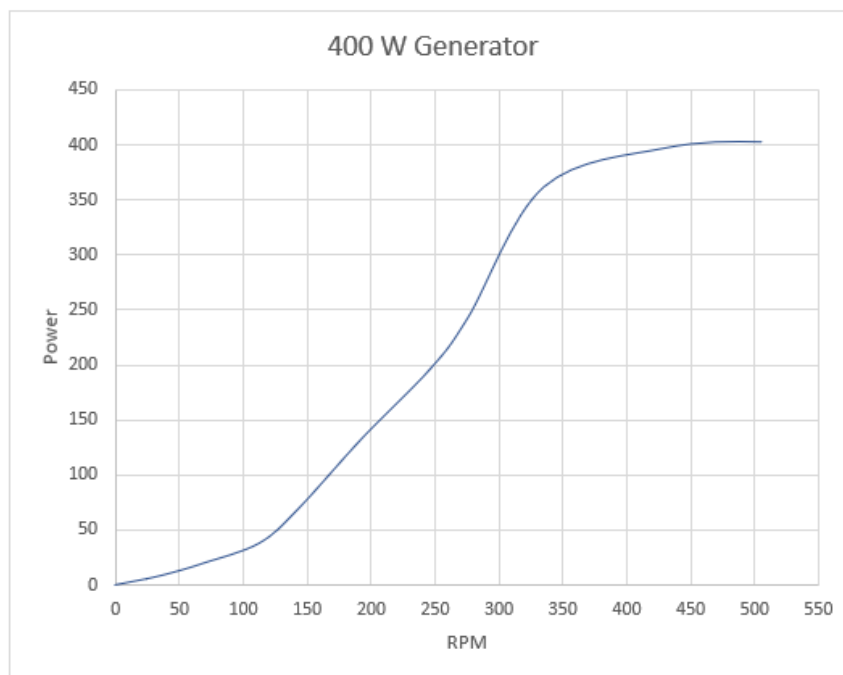
Analisa, perhitungan, pengukuran difokuskan pada kinerja dua komponen utama yaitu generator permanen magnet dan DC Motor. Beberapa parameter seperti kecepatan putar rotor, tegangan output, serta arus input akan dianalisa korelasi antar satu sama lainnya untuk mendapatkan gambaran matematis secara kerjas kerja sistem.

4.4.1 Karakterisasi Generator Permanen Magnet

Spesifikasi generator yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Power Rating : 400 Watt
- Max Power : 410 Watt
- RPM : 500 rpm
- Voltage : 12 V
- Frequency : 50 Hz
- Phase : 3 phase
- Dimensi : Diameter 200mm Tebal 100mm Panjang as 150mm diameter
As 16mm.
- Torsi : 8 Nm

Performa grafik generator sesuai pabrikan diperlihatkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Grafik performa generator permanen magnet

Grafik diatas didapatkan dari data manufaktur generator. Terlihat bahwa bahwa terdapat hubungan non-linear yang berbanding lurus antara kecepatan rotor generator dengan daya output.

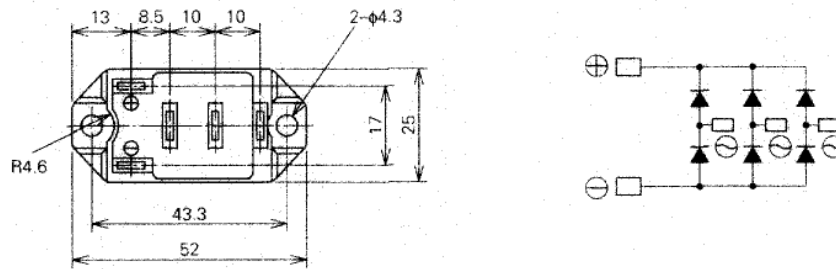
Karakterisasi tahap awal, dilakukan dengan meninjau keluaran tegangan generator. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan tachometer dan multimeter. Pada Tabel 4.1 diperlihatkan Tabel hasil pengukuran tegangan antar fasa generator yang diputar pada 500 rpm konstan tanpa beban.

Tabel 4.1 Tabel Hasil pengukuran tegangan antar fasa (500 rpm)

Phase	Voltage	RPM
1-2	14,69 V	509
2-3	14,8 V	509
1-3	14,79 V	509

4.4.2 Rectifier 3 Fasa tipe Full Wave

Untuk merubah arus AC 3 fasa keluaran generator menjadi arus DC, diperlukan sebuah dioda bridge dengan tipe RM10TB-M dengan spesifikasi 20A/400V. Pada Gambar 4.3 diperlihatkan skematik dioda bridge tipe RM10TB-M.



Gambar 4.3 Skematik dioda bridge tipe RM10TB-M

Sirkuit *rectifier* tipe *full-wave* tiga fasa menggunakan 6 buah dioda dalam modulnya, modul ini umumnya diberinama dioda bridge atau kuprok, setiap fasa terdapat dua dioda. Sirkuit ini memiliki kelebihan dimana *ripple output* yang dihasilkan bernilai lebih kecil dibandingkan *rectifier* tipe *half-wave*. Dioda bridge tipe RM10TB-M merupakan sirkuit *rectifier* tipe *full-wave*.

Berdasarkan informasi diatas, tegangan output DC rata-rata keluaran sirkuit *rectifier* tipe *full-wave* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_{DC} = \left[\frac{3\sqrt{3}}{\pi} \right] V_s = 1,654 x V_s \text{ dan } V_s = \frac{V_{L(PEAK)}}{\sqrt{3}} \quad (2.1)$$

Dimana :

$V_{L(PEAK)}$ = rata-rata tegangan fasa ke fasa

V_s = tegangan fasa ke netral

V_{DC} = tegangan output DC

Sehingga

$$\text{Nilai } V_{L(Peak)} = \frac{14,69+14,8+14,79}{3} = 14,76 \text{ V}$$

$$\text{Maka } V_s = \frac{14,76}{\sqrt{3}} = 8,521 \text{ V}$$

$$\text{Sehingga } V_{DC} = 1,654 x 8,082 = 14,094 \text{ V}$$

Perlu diperhatikan bahwa hitungan diatas belum mempertimbangkan *power loss* yang terjadi saat arus listrik melewati dioda serta faktor-faktor lain yang mengakibatkan kerugian daya (kabel, panas, dll), sehingga pengukuran aktual dapat diasumsusikan bernilai lebih kecil dari hasil perhitungan.

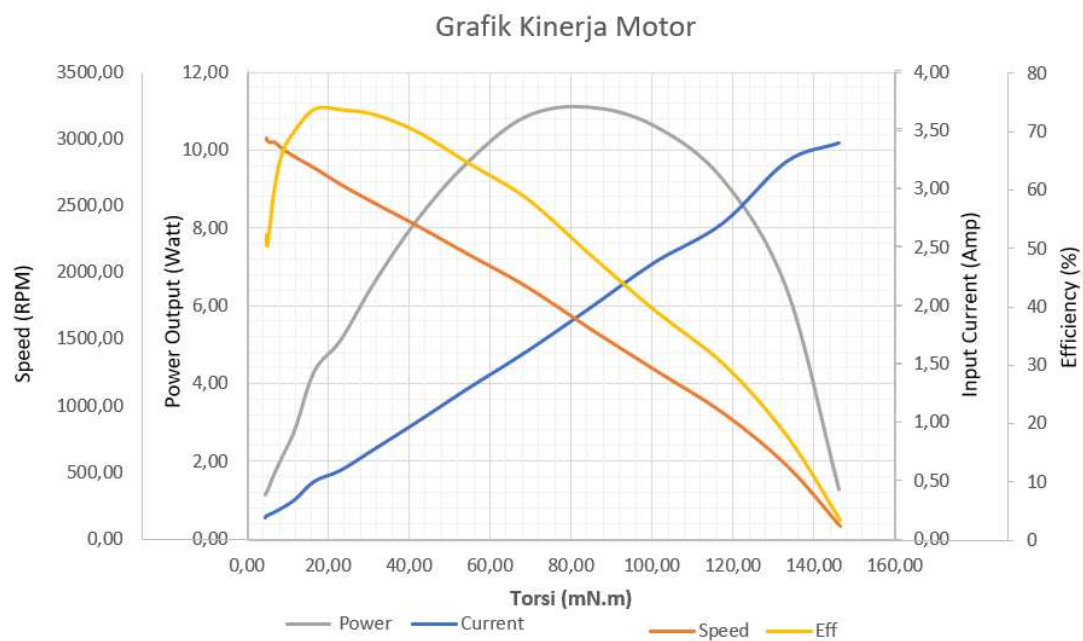
4.4.3 Karakterisasi DC Motor

Pada penelitian ini menggunakan motor penggerak tipe Rs-775123000. Spesifikasi teknis dari Motor Dc diperlihatkan pada Gambar 4.4 .

Model	Voltage Nominal	No Load		At Maximum Efficiency				Torque g-cm	Current A
		Speed	Current	Speed	Current	Torque	Output		
		r/min	A	r/min	A	g-cm	w		
RS-775123000	DC 12V	3000	0.22	2200	1.0	350	7.7	1400	3.5

Gambar 4.4 Spesifikasi teknis motor DC RS-775123000

Motor DC memiliki tegangan input sebesar 12 Volt. Arus input bervariasi mulai dari 0,22 sampai 3,5 Ampere. RPM motor sendiri bernilai sampai dengan 3000 RPM. Performa motor DC (pabrikan) diperlihatkan pada Gambar 4.5

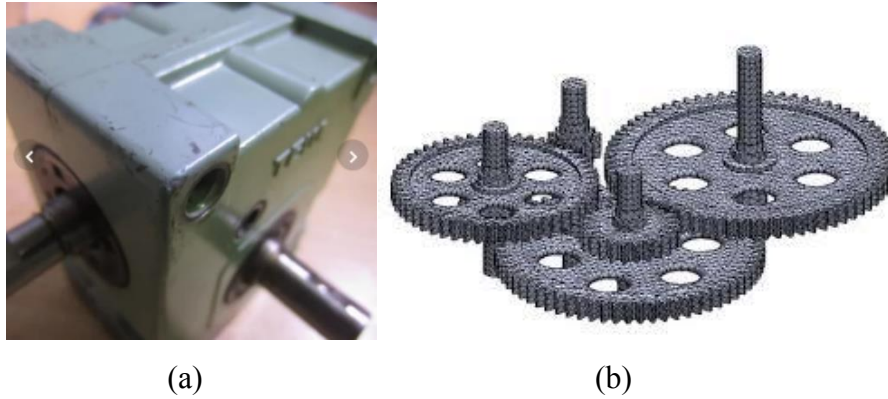


Gambar 4.5 Grafik performa DC Motor

Torsi pada motor merepresentasikan seberapa besar kekuatan putaran yang harus dilakukan oleh rotor motor untuk melakukan putaran. Jika RPM diinginkan konstan, semakin besar torsi maka akan semakin besar daya yang diperlukan motor untuk mencapai RPM tersebut. Kenaikan daya berarti arus yang dibutuhkan akan semakin besar juga. Namun, perlu diketahui bahwa setiap motor memiliki efisiensi, yaitu perbandingan daya input dengan daya aktual yang menjadi gaya mekanik dalam bentuk putaran rotor. Efisiensi cenderung akan turun jika torsi bernilai besar, meskipun input arus atau daya dinaikan.

4.4.4 Karakterisasi Gearbox

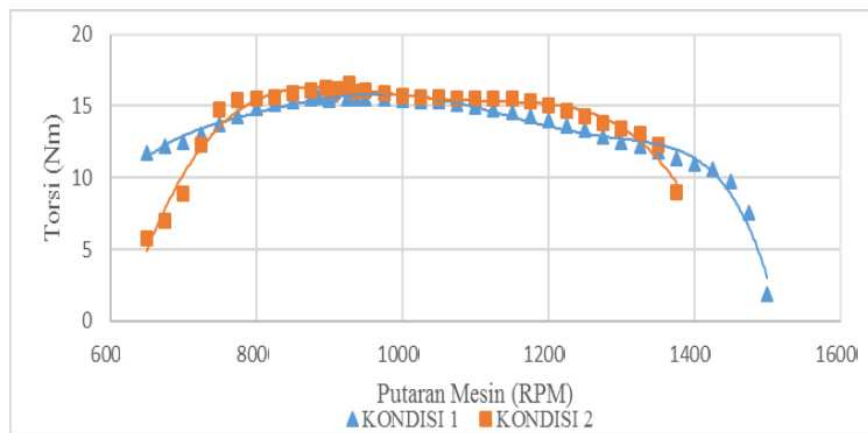
Pada penelitian ini menggunakan gearbok yang mampu mengkonversi putaran 1500 menjadi 500 (3:1), dipilih gearbok yang memiliki high torsi dengan menggunakan konversi roda gigi bertingkat. Pada gambar 4.6 diperlihatkan gearbox tipe rasio 3:1



Gambar 4.6 gearbox kecil 3:1 dan internal gearbox

(a) gearbox (3:1) (b) internal gearbox

Hasil karakterisasi dari gearbox diperlihatkan pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Karakterisasi dari gearbox (3:1)

Dari grafik terlihat bahwa pada kecepatan putar masukan antara 1200-1500 memiliki torsi kisaran 10 Nm sehingga cukup untuk memutar generator yang memiliki torsi internal sebesar 7Nm sesuai spesifikasi.

4.4.5 Uji Coba Generator Tanpa Kendali

Uji Generator tanpa kendali artinya tidak ada pengendalian kecepatan generator secara *closeloop* namun diset pada awal saja sebesar 500 rpm oleh mikrokontroller. Pengujian dilakukan tanpa beban resistif. Uji coba ini bertujuan untuk menemukan data awal sebagai bahan perbandingan percobaan dengan sistem kendali.

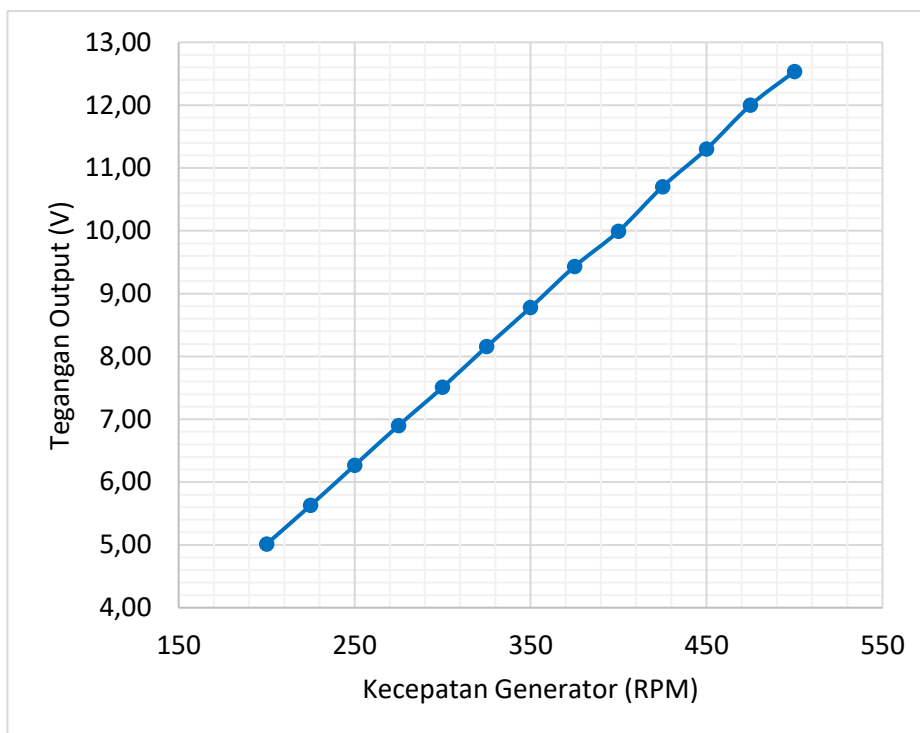
Masukan gearbox diputar pada kecepatan motor 1500 terukur tachometer, dan keluaran gearbox terhubung langsung ke generator melalui vbelat gerigi 1:1. Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan rotor generator (rpm) sedangkan multimeter digunakan untuk mengukur tegangan keluaran pada dioda bridge RM10TB-M.

Hasil pengukuran kecepatan putar rotor generator dengan tegangan output diperlihatkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Pengukuran RPM dan tegangan output generator tanpa beban

RPM	Tegangan Output (V)
500	12,54
475	12,00
450	11,30
425	10,70
400	9,99
375	9,43
350	8,78
325	8,15
300	7,51
275	6,90
250	6,27
225	5,63
200	5,01

Data pada Tabel 4.2 kemudian diolah menjadi grafik katakarakteristik generator tanpa beban yang ditampilkan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik perbandingan RPM dengan tegangan output generator tanpa beban

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa terdapat hubungan garis berbanding lurus antara kecepatan putar rotor generator dengan tegangan output yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai RPM generator maka semakin besar tegangan output generator tersebut. Linearitas RPM terhadap tegangan untuk generator tanpa beban dapat dihitung sebesar :

$$\frac{(12,5 - 5,1)V}{(500 - 200)RPM} = \frac{7,4 V}{300 RPM} = 2,47 \cdot 10^{-2} V/RPM$$

Atau dengan kata lain perubahan 1 rpm akan merubah 247mV.

Berdasarkan formulasi $E = K \cdot \Phi \cdot n$ dimana E adalah gaya gerak listrik (e.m.f) dalam Volt, K adalah konstanta mesin (jenis dan konstruksi mesin), Φ adalah fluks dalam weber dan n adalah kecepatan rotasi (putaran/detik). Sehingga tegangan gaya gerak listrik (V) berbanding lurus dengan n (rpm).

4.4.6 Uji Coba Generator Dengan Beban

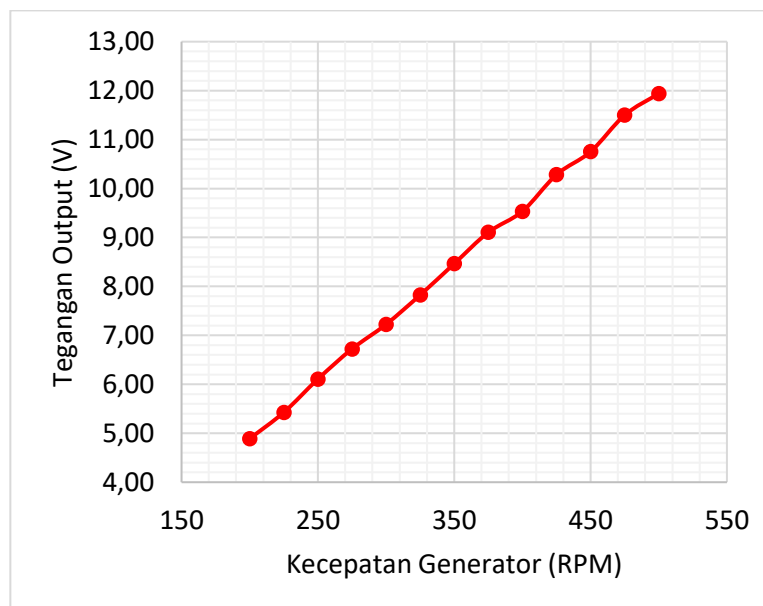
Tahapan pengukuran generator pada bagian ini memiliki banyak kemiripan dengan pengukuran generator tanpa beban. Perbedaan terletak pada pemasangan beban berupa sebuah lampu 60 W/12 V pada ujung rectifer dioda bridge.

Hasil pengukuran kecepatan putar rotor generator dengan tegangan output diperlihatkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Pengukuran RPM dan tegangan output generator dengan beban

RPM	Tegangan Input (V)
500	11,94
475	11,50
450	10,75
425	10,28
400	9,54
375	9,11
350	8,47
325	7,82
300	7,22
275	6,72
250	6,11
225	5,43
200	4,89

Hasil pengolahan data tabel menjadi grafik untuk perbandingan RPM dengan tegangan output generator dengan beban ditampilkan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik perbandingan RPM dengan tegangan output generator dengan beban

Hasil pengukuran menunjukkan kemiripan nilai antara performa RPM dengan tegangan output generator tanpa dan dengan beban tersambung. Linearitas dari hubungan kedua variabel ini dapat kembali dihitung dengan :

$$\frac{(11,94 - 4,89)V}{(500 - 200)RPM} = \frac{7,08 V}{300 RPM} = 2,36 \cdot 10^{-2} V/RPM$$

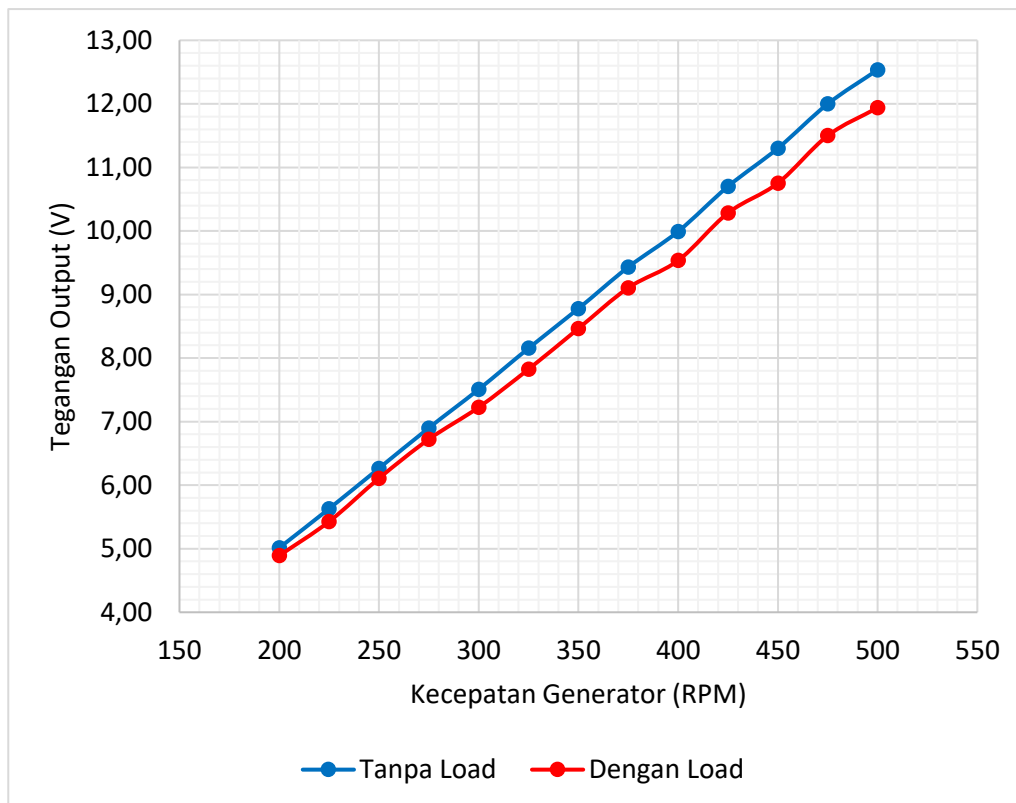
4.4.7 Perbandingan Kinerja Generator

Tabel perbandingan antara RPM dengan tegangan output generator yang terhubung dengan dan tanpa beban diperlihatkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Perbandingan generator tanpa beban dan dengan beban

RPM	Tanpa Load (V)	Dengan Load (V)	Perbedaan Relatif (%)
500	12,54	11,94	4,76
475	12,00	11,50	4,16
450	11,30	10,75	4,85
425	10,70	10,28	3,91
400	9,99	9,54	4,57
375	9,43	9,11	3,46
350	8,78	8,47	3,57
325	8,15	7,82	4,05
300	7,51	7,22	3,77
275	6,90	6,72	2,58
250	6,27	6,11	2,52
225	5,63	5,43	3,58
200	5,01	4,89	2,46

Pada tabel 4.3 terlihat, terdapat perbedaan relatif rata-rata antara tegangan output generator tanpa dan dengan beban sebesar 3,51 %. Perbedaan relatif yang berupa penurunan ini memiliki hubungan langsung dengan penambahan beban pada kinerja generator. Grafik perbandingan kedua data diatas dapat dilihat pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Grafik perbandingan generator dengan dan tanpa beban

Linearitas RPM dengan tegangan output kondisi generator tanpa beban adalah $2,47 \cdot 10^{-2} V/RPM$ sedangkan kondisi generator dengan beban adalah $2,36 \cdot 10^{-2} V/RPM$. Dengan membandingkan linearitas kedua kondisi, nampak bahwa penambahan beban menimbulkan penurunan linearitas RPM dan tegangan output.

4.5 Teknik Pengendalian

Fuzzy logic merupakan ekstensi dari boolean logic. Dengan fleksibilitas yang mana aturan pada fuzzy logic memungkinkan aturan-aturan dalam logic yang dibuat untuk diekspresikan menggunakan nilai kuantitatif. Terdapat 4 bagian utama yang membentuk struktur fuzzy logic yaitu fuzzification, rule base, inference engine, defuzzification.

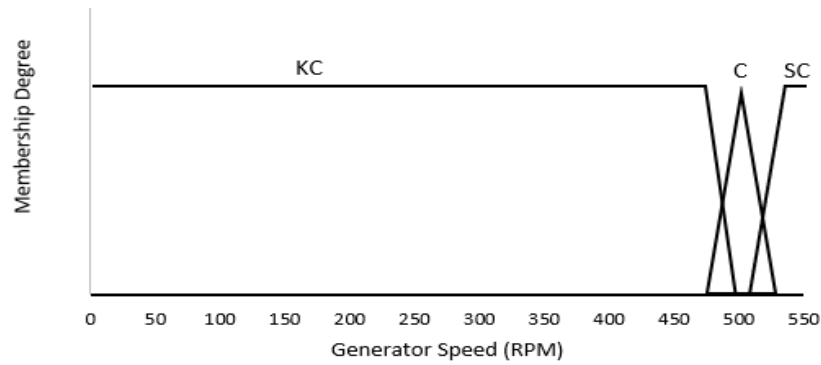
Integrasi FL sebagai akar utama controller sistem ditujukan untuk melakukan optimasi dan pencarian titik efektif dimana sistem bisa bekerja secara kontinyu tanpa mengalami overload.

4.5.1 Fungsi Kepemilikan

Fuzzyfication adalah bagian menjeremahkan data-data numerik yang bersifat kuantitatif dari sensor menjadi variabel bahasa melalui fungsi kepemilikan. Pada sistem

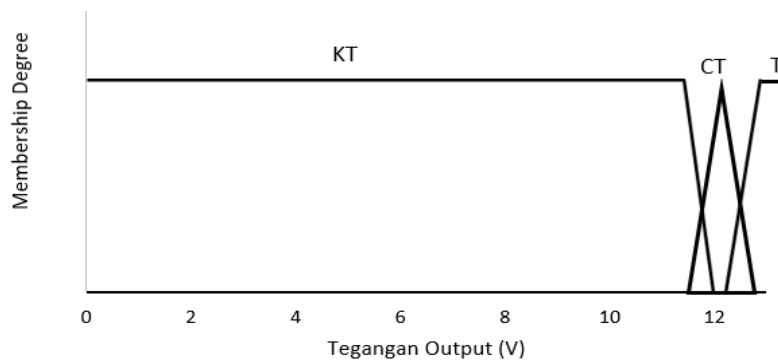
ini, fungsi input dan output memiliki 3 fungsi kepemilikan berupa dua trapezoid dan satu triangular, sedangkan fungsi output memiliki 5 fungsi kepemilikan yaitu dua trapezoid dan tiga triangular.

- a.) Generator Rotor Speed (RPM), fungsi input. Dideskripsikan sebagai Kurang Cepat, Cepat dan Sangat Cepat



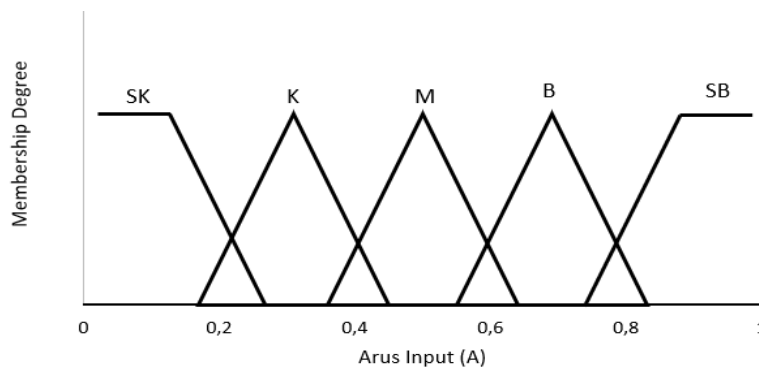
Gambar 4.11 Membership function RPM

- b.) Tegangan Output (V), fungsi input. Dideskripsikan sebagai Kurang Tinggi, Cukup Tinggi, dan Tinggi.



Gambar 4.12 Membership function V output

- c.) Arus Input DC Motor (A), fungsi output. Dideskripsikan dengan Sangat Kecil, Kecil, Menengah, Besar, dan Sangat Besar.



Gambar 4.13 Membership function I input

4.5.2 Aturan Kontrol Fuzzy

Pengambilan keputusan dalam fuzzy logic akan mengikuti pasangan aturan yang terlebih dahulu telah dibuat. Aturan – aturan ini direpresntasikan sebagai aturan “IF-THEN”. Tabel 4.5 diperlihatkan aturan-aturan dalam kontrol fuzzy yang akan diterapkan. Pilihan pada aturan ini dibuat berdasar kepada data kinerja komponen utama.

Tabel 4.5. Aturan fuzzy logic sistem

Aturan	RPM	Vout	Im
1	KC	KT	SK
2	KC	CT	K
3	KC	T	M
4	C	KT	B
5	C	CT	SK
6	C	T	B
7	SC	KT	M
8	SC	CT	K
9	SC	T	SK

Inference engine sebagai inti dari fuzzy logic control dapat mensimulasikan penalaran manusia dan memutuskan aksi fuzzy logic berdasarkan aturan fuzzy yang telah ditetapkan. Proses numerikal dari aturan inference dan fuzzy memungkinkan didapatkannya output fuzzy. Metode yang digunakan sebagai inference engine pada sistem ini adalah metode fuzzy Mamdani.

Di tahap akhir fuzzy logic, defuzzification memungkinkan *inference engine* untuk menghasilkan hanya satu output dan merubah variabel bahasa kualitatif menjadi data numerikal kuantitatif. Metode defuzzification yang digunakan pada sistem ini adalah MOM (mean of maximum).

5.5.3 Analisa Kinerja Sistem

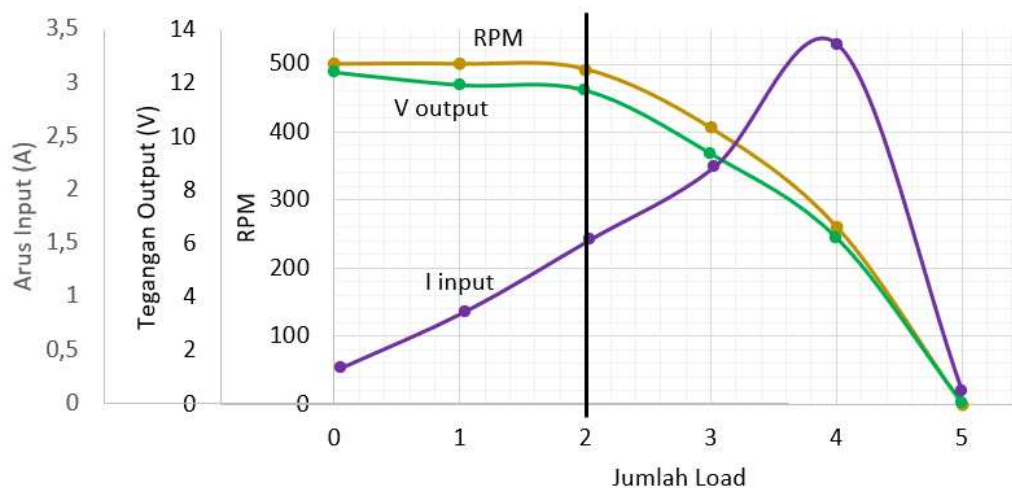
Tahap terakhir pada penelitian ini adalah uji coba sistem yang telah diimplementasikan sistem kontrol. Sebuah beban berupa lampu bohlam dengan spesifikasi 60W/12V ditambahkan secara bertahap ke bagian *load generator*. Sementara itu, rpm dan tegangan output akan terus dimonitoring hasilnya melalui microcontroller.

Perubahan pada RPM dan tegangan output akan memberikan perintah injeksi arus input ke DC Motor. Hasil data uji coba tersebut dapat diperlihatkan pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil uji coba prototipe

Jml Beban	Vload (V)	RPM	Im (A)
0	12,48	500	0,22
1	12	500	0,75
2	11.8	493	1,42
3	9,4	406	2,1
4	6,23	261	3,25
5	0	0	0

Berdasarkan data yang didapat, keadaan RPM dan Vload sistem tampak stabil hingga beban ke 2 ditambahkan. Beban ketiga membuat RPM dan tegangan mulai turun meskipun arus injeksi (I_m) bernilai besar. Hal ini dikarenakan oleh DC motor memiliki keterbatasan fisik berupa efisiensi. Dengan merujuk kepada data karakteristik DC Motor, injeksi arus sebesar diatas 2 Ampere dengan putaran beban (torsi) yang meningkat mengakibatkan efisiensi motor turun. Lampu keempat semakin mendukung teori ini dan penambahan lampu ke lima membuat sistem berhenti bekerja. Gambar 4.13 diperlihatkan grafik hubungan antara rpm terhadap penambahan jumlah beban.



Gambar 4.14 hubungan antara rpm terhadap penambahan jumlah beban

Menghitung total efisiensi sistem untuk 2 beban terhubung :

- Bagian kontroller = Arus (rectifier) 5 A x 12 V = 60 W

- Bagian load $= 5 \text{ A} \times 12 \text{ V} \times 2 = 120 \text{ W}$
- Total Penggunaan $= 60 + 120 = 180 \text{ W}$
- Persentase penggunaan $= 180 / 400 \times 100 \% = 45 \%$

berdasarkan perhitungan dengan data hasil ujicoba, bahwa sistem dapat bekerja secara setimbang apabila diperlakukan pada pengaturan daya minimal maksimal 45% dari daya keluaran generator. Daya maksimal dapat ditingkatkan lagi misalnya menjadi 75% dengan cara menggantikan dioda bridge RM10TB-M (20A) dan pengendali motor DC (5A), namun dengan menaikkan kapasitas arus pada beban akan menimbulkan panas berlebih pada generator, sehingga generator menjadi lebih mudah rusak.

BAB 5

KESIMPULAN

Hasil penelitian “Prototipe Pembangkit Listrik Berkelanjutan 12VAC/50Hz 400W” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Tegangan output generator permanen magnet berbanding lurus dengan kecepatan putar (RPM) rotornya. Semakin tinggi nilai RPM, maka akan semakin besar tegangan output dari generator tersebut.
- b. Nilai tegangan output generator tanpa load pada kecepatan 509 RPM setelah melalui rangkaian rectifier dioda bridge secara matematis setara dengan $3/\pi$ tegangan fasa ke fasa yaitu 14,094 V. Dengan mempertimbangkan power loss yang terjadi saat arus melalui rangkaian dioda bridge, nilai aktual pengukuran akan menjadi lebih kecil.
- c. DC Motor memiliki hubungan persamaan kuadrat antara torsi dengan daya output. Pada titik tertentu, saat arus input bernilai konstan, daya output akan mencapai titik balik dan mengalami penurunan meskipun arus tetap dinaikan. Hal ini terjadi karena batasan efisiensi DC motor. Efisiensi berbanding terbalik dengan arus input dan torsi.
- d. Perbandingan torsi dan RPM gearbox dengan DC Motor mengikuti persamaan 3:1. Walaupun RPM gearbox bernilai 3 kali lipat lebih kecil, namun dibutuhkan torsi yang lebih dari 3 kali lipat dari torsi motor.
- e. Saat kondisi generator tidak terhubung dengan beban, kenaikan 1 rpm akan menaikkan tegangan output sebesar 247 mV. Di sisi lain, saat generator terhubung dengan beban sebesar 60W, perbandingan kenaikan rpm dengan kenaikan tegangan output adalah 236 mV. Terdapat perbedaan relatif tegangan output antara kondisi terhubung dan tanpa load sebesar 3,51 %.
- f. Teknik pengendalian menggunakan fuzzy logic memiliki 2 fungsi masukan dan 1 fungsi keluaran. Berdasarkan data kinerja komponen utama, didapatkan 9 aturan kontrol fuzzy. Dengan menggunakan fuzzy mamdani sebagai inference system dan *mean of maximum* sebagai metode defuzzification, fuzzy control mamdani ini dapat mengambil keputusan pengendalian sesuai yang diharapkan.
- g. Implementasi fuzzy control pada sistem menciptakan *feedback loop* yang masih stabil saat 2 buah beban lampu bohlam 60 W ditambahkan ke sistem. RPM dan

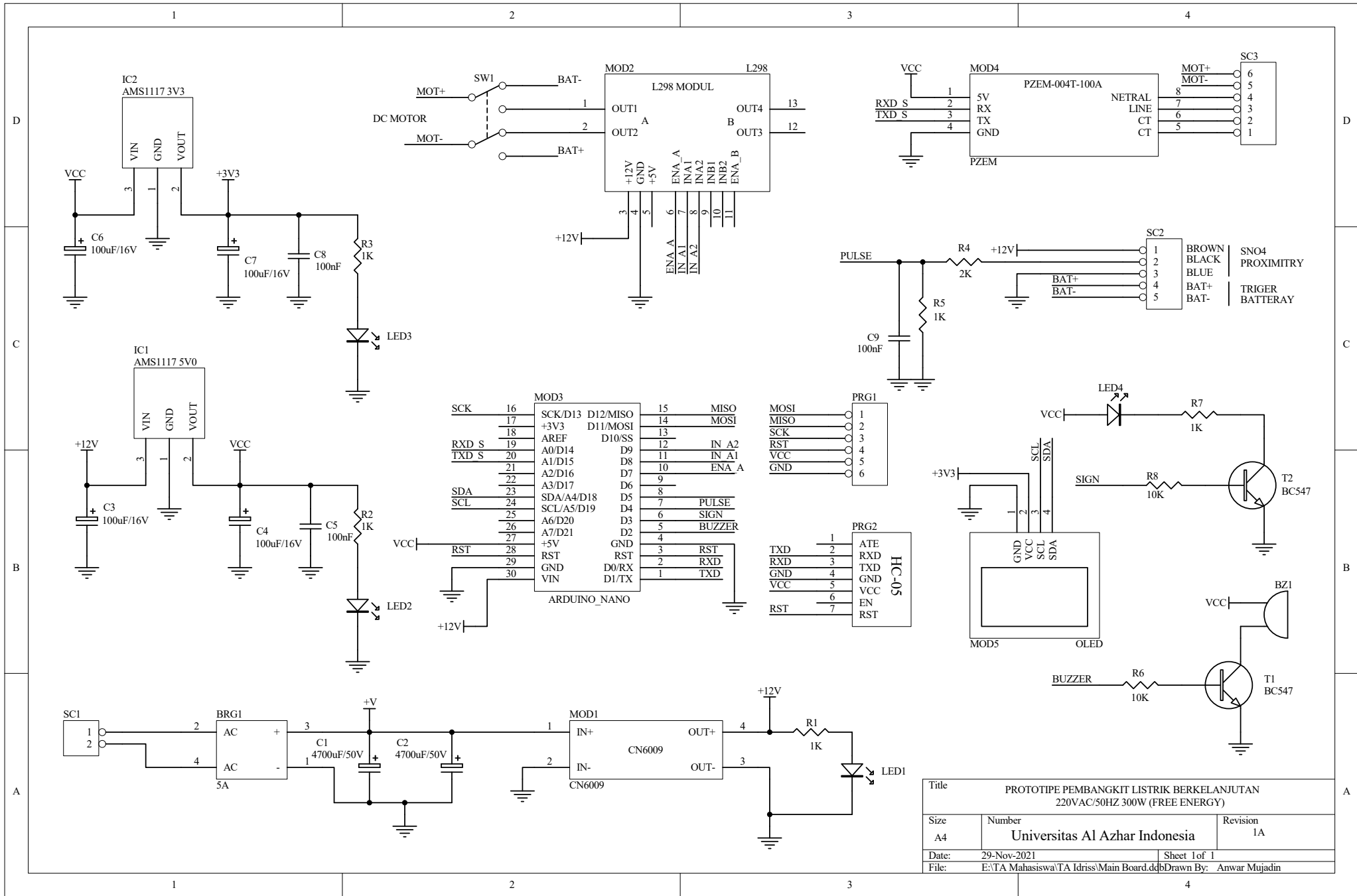
tegangan output mulai mengalami penurunan saat beban ke-3 dan seterusnya ditambahkan, meskipun nilai arus input DC Motor tetap ditingkatkan.

- h. Dari hasil ekperimen dapat dibuktikan bahwa, dengan penggunaan daya sebesar 45% dari kapasitas maksimum daya generator. Sistem berjalan seimbang dan generator tidak menimbulkan desipasi panas berlebih (aman).

Prototipe ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menerapkan sistem pengendali lain menggunakan fuzzy logic metode lain ataupun PID. Penggunaan rectifier dioda bridge yang lebih besar juga memungkinkan kapasitas konsumsi daya load yang lebih besar.

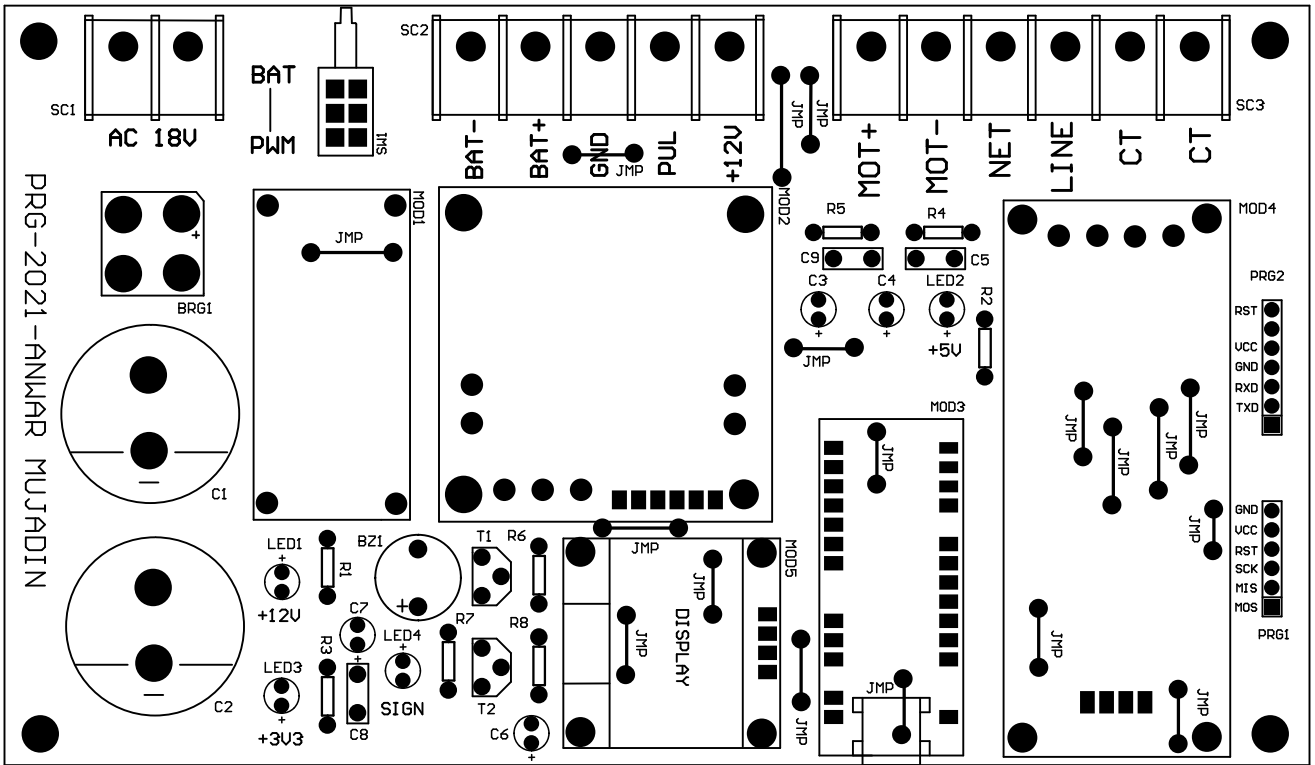
DAFTAR PUSTAKA

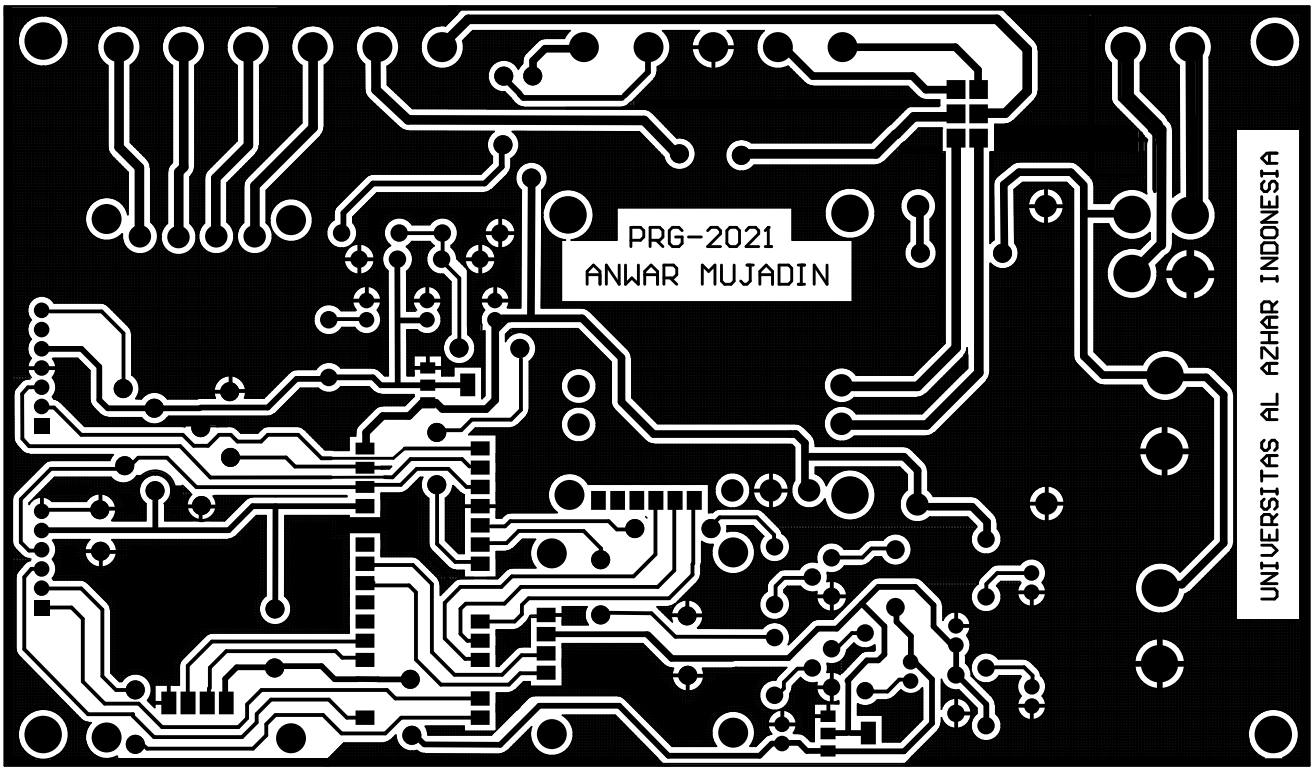
- [1] Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia> [diakses 15 Maret 2021].
- [2] Asy'ari H, Jatmiko and Ardiyatmoko A. 2012. Desain generator magnet permanen kecepatan rendah untuk pembangkit listrik tenaga angin atau bayu (PLTB) Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)
- [3] Teuku Multzaman. 2019. Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator.2019. DOI: 10.32672/jse.v4i2.1446
- [4] Y. T. Rao, C. Chakraborty, and S. Basak, “Brushless induction excited synchronous generator with induction machine operating in plugging mode,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 54, no. 6, pp. 5748–5759, Nov./Dec. 2018.
- [5] 3kw,5kw,10kw Single phase 220V Low rpm low speed 100rpm,250rpm,375rpm PMG Permanent magnet Generator Alternator. <https://cntopenergy.en.alibaba.com/product/60771810340-803112448/> [diakses 17 Maret 2021].
- [6] BESTRON A.V.R type : LS400X7, LS400X12. <https://www.scribd.com/document/422358332/038cf4-548691f1e88748199bf7251a3de7aa63>. [diakses 17 Maret 2021].
- [7] Gearbox motor DC 400 rpm. PGM16 Φ 16mm. http://www.etonm.com/products_detail/productId=55.html [diakses 12 Mar 2021].
- [8] Suwito.2016. Mendisain Rangkaian Power Supply pada Rancang Bangun Miniatur Pintu Garasi Otomatis. Journal of Electrical Technology, Vol 1, No.1, Feb 2016
- [9] LM2506 datasheet. <https://www.ti.com/product/LM25066A>. [diakses 10 Maret 2021].
- [10] Benmessaoud, Fouzia, Abdesselem Chikhi, Sebti Belkacem, and Ghoulemallah Boukhalifa. “Multi-Level Direct Torque Control of Induction Motor Using Fuzzy Genetic Speed Regulation.” In 2019 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), 1–5. Istanbul, Turkey: IEEE, 2019.



Title			PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK BERKELANJUTAN 220VAC/50HZ 300W (FREE ENERGY)		
Size	Number	Universitas Al Azhar Indonesia		Revision	1A
Date:	29-Nov-2021	Sheet 1 of 1			
File:	E:\TA Mahasiswa\TA Idriss\Main Board.dcb		Drawn By:	Anwar Mujadin	

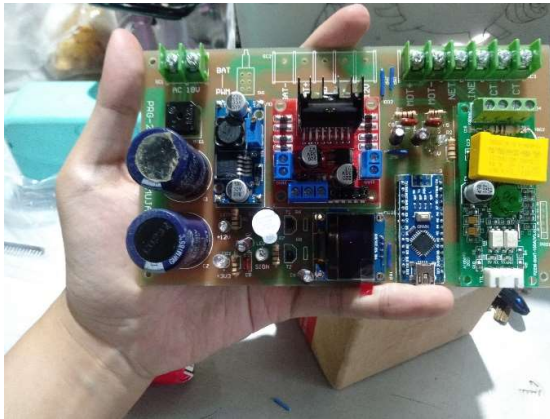
PRG-2021-ANMAR MUJADIN



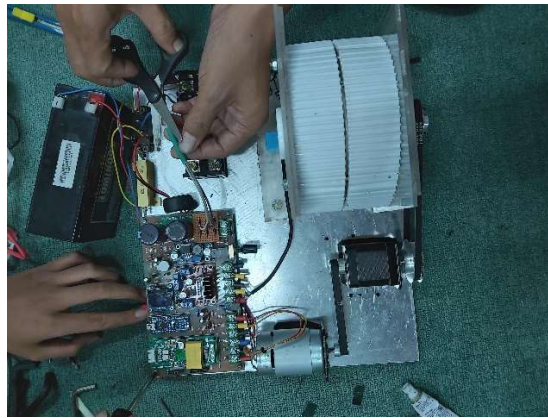
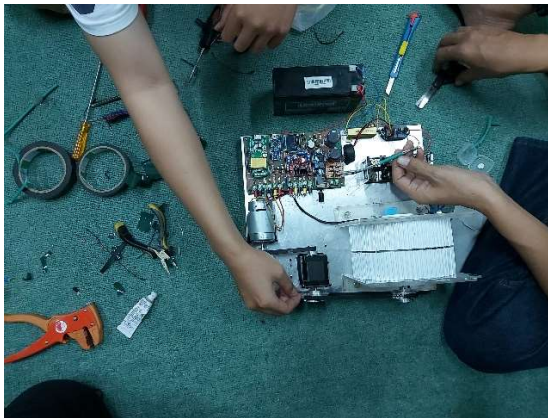
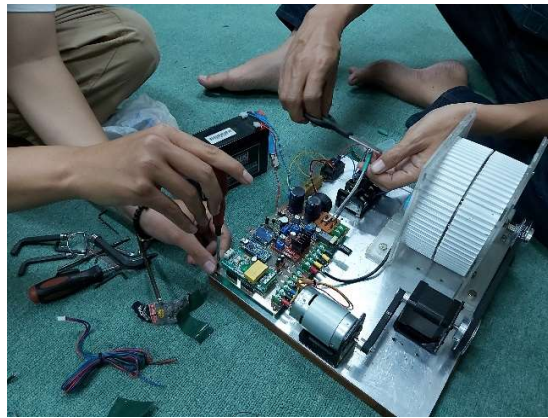


PRG-2021
ANWAR MUJADIN

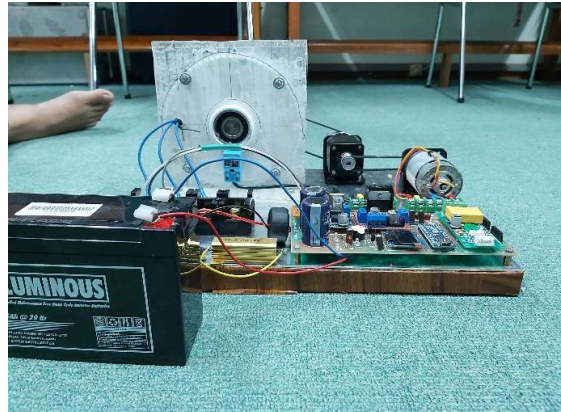
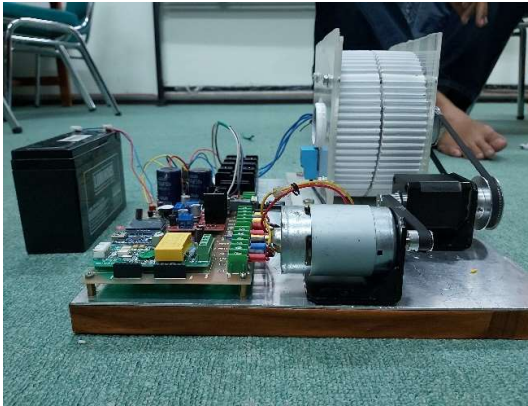
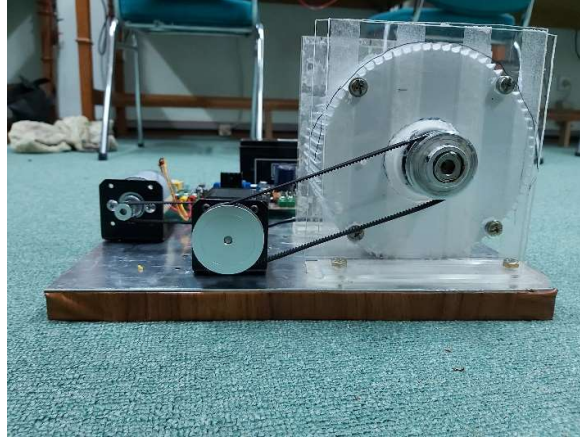
UNIVERSITAS AL AZHAR INDONESIA



Lampiran L.4 Solder dan Pengerjaan Mekanik



Lampiran L.5 Pengawatan dan perakitan prototipe



Lampiran L.6 Hasil akhir prototipe